

PYTHON UNTUK ASTRONOMI ISLAM

*Membangun Aplikasi Kalkulasi Kalender Hijriah
dan Visibilitas Hilal*



10 Mei 2025



Python untuk Astronomi Islam: Membangun Aplikasi Kalkulasi Kalender Hijriah dan Visibilitas Hilal

Penulis: Kasmui

Penerbit: Komunitas FalakMu Indonesia, 2025

Python untuk Astronomi Islam: Membangun Aplikasi Kalkulasi Kalender Hijriah dan Visibilitas Hilal

© 2025 Kasmui

Seluruh hak cipta dilindungi undang-undang. Tidak diperkenankan memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun dan dengan cara apa pun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: [akan diisi oleh penerbit]

Diterbitkan oleh: Komunitas FalakMu Indonesia

PERSEMBAHAN

Buku ini saya persembahkan untuk:

- Para pencinta dan komunitas Astronomi yang terus berjuang menjaga warisan intelektual Islam, khususnya Komunitas FalakMu Indonesia.
- Mahasiswa dan pelajar yang dengan semangat ingin memadukan ilmu syar'i dengan teknologi kontemporer.
- Keluarga tercinta yang senantiasa menjadi sumber kekuatan dan inspirasi.
- Dan untuk masa depan umat Islam yang lebih cemerlang dalam memahami tanda-tanda kekuasaan Allah melalui langit dan bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH / ACKNOWLEDGMENT

Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- Para guru, dosen, dan ulama falak yang telah membuka jalan pemahaman astronomi Islam dengan keteladanan dan ilmu mereka.
- Rekan-rekan sejawat, mahasiswa, dan Komunitas FalakMu serta Tim Software KHGT MTT PP Muhammadiyah yang telah memberikan inspirasi, diskusi, serta umpan balik konstruktif selama proses penulisan.
- Keluarga besar saya, khususnya ragil saya, Hanindita Salwa Aushof, yang dengan senyum dan keceriaannya menguatkan saya setiap hari.
- Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, namun jasanya terukir dalam setiap lembar buku ini.

Semoga Allah membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat dan menjadikan ilmu ini bermanfaat serta bernilai ibadah.

KATA PENGANTAR

Bismillāhir-Raḥmānir-Raḥīm

Segala puji bagi Allah Subḥānahu wa Ta'ālā yang telah menciptakan langit dan bumi serta menjadikan peredaran benda-benda langit sebagai tanda-tanda kekuasaan-Nya. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Ṣallallāhu 'alaihi wa sallam, sang penunjuk jalan lurus yang membawa cahaya ilmu dan hikmah ke tengah umat manusia.

Buku ini, "Python untuk Astronomi Islam: Membangun Aplikasi Kalkulasi Kalender Hijriah dan Visibilitas Hilal", lahir dari kegelisahan sekaligus harapan akan perlunya pendekatan baru dalam memahami dan mengembangkan Astronomi atau astronomi Islam. Di tengah era digital yang semakin maju, kebutuhan akan akurasi, otomasi, dan analisis berbasis data menjadi semakin mendesak, termasuk dalam konteks penentuan awal bulan Hijriah dan observasi hilal.

Astronomi, sebagaimana telah diwariskan oleh para ulama terdahulu, merupakan ilmu yang mulia dan strategis. Bukan hanya karena ia berkaitan langsung dengan pelaksanaan ibadah seperti penentuan awal Ramadan dan Idulfitri, tetapi juga karena ia menampilkan kekayaan intelektual Islam dalam memahami alam semesta. Seiring dengan berkembangnya teknologi dan ilmu komputasi, pendekatan-pendekatan tradisional dalam Astronomi perlu dilengkapi dengan metode-metode baru yang lebih efisien, akurat, dan mudah diakses.

Python, sebagai bahasa pemrograman yang populer, terbuka, dan didukung oleh komunitas global yang luas, menawarkan solusi ideal bagi para pelajar dan peneliti dalam bidang ini. Keunggulannya terletak pada sintaksis yang mudah dipahami, ketersediaan pustaka numerik dan visualisasi yang kuat (seperti NumPy, Pandas, Matplotlib), serta adanya library khusus astronomi seperti Astropy dan Skyfield. Dengan memanfaatkan ekosistem ini, kita tidak hanya bisa melakukan perhitungan posisi matahari dan bulan dengan presisi tinggi, tetapi juga dapat membangun aplikasi yang mampu menyajikan informasi astronomis secara interaktif dan visual.

Buku ini disusun dengan struktur yang sistematis agar dapat diakses oleh berbagai kalangan, mulai dari mahasiswa, peneliti, pengajar, hingga masyarakat umum yang memiliki minat dalam bidang astronomi Islam dan teknologi. Setiap bab dirancang untuk menggabungkan teori dasar, praktik pemrograman, dan implementasi aplikatif, sehingga pembaca tidak hanya memahami konsep tetapi juga dapat langsung mengaplikasikannya.

Pada Bab 1, pembaca akan diajak memahami latar belakang pentingnya menggunakan

Python dalam konteks astronomi Islam. Ditekankan pula peran komputasi dalam Astronomi modern dan bagaimana Python menonjol dibandingkan bahasa pemrograman lain.

Bab 2 menyajikan dasar-dasar pemrograman Python dengan fokus pada kebutuhan astronomi, termasuk pengenalan struktur data, penggunaan NumPy dan Pandas, serta plotting data dengan Matplotlib dan Seaborn.

Bab 3 mengupas sistem koordinat langit dan konsep waktu astronomi yang esensial dalam perhitungan hilal dan kalender. Bab ini juga memperkenalkan penggunaan library Astropy dan Skyfield untuk membantu konversi waktu dan koordinat secara akurat.

Bab 4 membahas algoritma perhitungan posisi matahari dan bulan berdasarkan model orbit sederhana. Penjelasan diberikan secara bertahap, mulai dari dasar perhitungan hingga implementasi kode Python tanpa menggunakan library kompleks.

Bab 5 memfokuskan pada konversi kalender Hijriah ke Masehi dan sebaliknya. Di dalamnya dibahas pendekatan algoritmik berbasis tabel dan metode astronomis, serta penerapannya dalam bentuk fungsi Python.

Bab 6 membahas tentang Kallender Hijriah Global Tunggal (KHGT) yang diinisiasi dari Konferensi Istambul tahun 2016, kemudian diakomodasi oleh Persyarikatan Muhammadiyah untuk mengganti Wujudul Hilal yang masih bersifat lokal. Misi suci untuk menyatukan umat Islam melalui kalender global menggunakan konsep matlak global dan satu hari satu tanggal.

Bab 7 membahas teori dan perhitungan visibilitas hilal berdasarkan berbagai kriteria yang digunakan di dunia Islam, seperti imkanur rukyat dan wujudul hilal. Parameter penting seperti elongasi dan tinggi bulan dijelaskan secara rinci.

Bab 8 merupakan bagian implementatif utama: membangun aplikasi prediksi hilal dengan Python. Di sini, pembaca diajak untuk menyusun modul perhitungan, mengembangkan antarmuka, dan menghasilkan visualisasi hasil prediksi.

Bab 9 menyajikan studi kasus nyata, analisis data pengamatan hilal, dan perbandingan hasil prediksi dengan observasi historis. Ini penting untuk menguji akurasi model dan aplikasi yang telah dibangun.

Bab 10 menutup buku dengan merangkum seluruh isi, membahas tantangan dan peluang pengembangan lebih lanjut, serta memberikan rekomendasi sumber belajar bagi yang ingin mendalami lebih jauh.

Penyusunan buku ini tidak lepas dari berbagai tantangan, baik dari sisi teknis

pemrograman, validasi data astronomis, hingga sinkronisasi teori falak dengan praktik komputasi modern. Namun dengan semangat integrasi antara ilmu keislaman dan sains kontemporer, kami berharap karya ini menjadi bagian dari upaya kolektif dalam memajukan Astronomi Indonesia.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan motivasi selama proses penulisan. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat seluas-luasnya bagi pengembangan astronomi Islam berbasis teknologi di tanah air.

Akhir kata, segala kekurangan dalam buku ini semata-mata karena keterbatasan kami sebagai manusia. Segala yang benar dan baik berasal dari Allah, dan segala kekhilafan berasal dari kami pribadi. Semoga Allah Subḥānahu wa Ta'ālā memberkahi usaha ini dan menjadikannya amal jariyah bagi kita semua.

Wa Allāhu A'lam biş-Şawāb

Mei 2025
Penulis

Kasmui

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN

UCAPAN TERIMA KASIH

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I	20
MENGAPA PYTHON UNTUK ASTRONOMI ISLAM?	20
1.1 Pengantar: Astronomi dalam Bingkai Peradaban Manusia dan Islam	20
1.2 Sejarah Kegemilangan dan Kontribusi Peradaban Islam dalam Astronomi	22
1.2.1 Dorongan Kebutuhan Praktis Keagamaan sebagai Katalisator	22
1.2.2 Masa Keemasan Islam: Era Inovasi dan Penemuan	22
1.3 Transformasi Astronomi di Era Komputasi Modern	31
1.3.1 Dari Perhitungan Manual (<i>Hisab</i>) ke Otomatisasi Digital	31
1.3.2 Peran Krusial Komputasi dalam Merevolusi Astronomi	31
1.3.3 Aplikasi Berbasis Komputasi sebagai Standar Baru	33
1.4 Python: Pilihan Unggul untuk Komputasi Astronomi Islam di Era Digital	33
1.4.1 Mengapa Python? Tinjauan Umum Keunggulan Kompetitif	34
1.4.2 Kekuatan Ekosistem <i>Library</i> Ilmiah Python untuk Astronomi dan Astronomi	35
1.4.3 Sinergi Python dan Astronomi	37
1.5 Struktur Buku dan Prasyarat Pembaca	40
1.5.1 Rincian Struktur Buku	40
1.5.2 Prasyarat Pembaca	42
1.5.3 Harapan dan Tujuan Buku	42
BAB II	47
DASAR-DASAR PYTHON UNTUK KOMPUTASI ASTRONOMI	47
2.1 Instalasi Python dan Lingkungan Pengembangan	47
2.1.1 Opsi Instalasi Python	47

2.1.2 Lingkungan Virtual.....	48
2.1.3 Integrated Development Environment (IDE)	49
2.2 Pengenalan Struktur Data Dasar (List, Tuple, Dictionary) dan Kontrol Alur	51
2.2.1 Tipe Data Dasar Python.....	51
2.2.2 Struktur Data Dasar	52
2.2.3 Kontrol Alur	54
2.2.4 Dasar-dasar Fungsi (def, parameter, return)	55
2.3 Menggunakan NumPy untuk Operasi Numerik Tingkat Lanjut.....	57
2.3.1 Pengenalan NumPy dan Objek ndarray	57
2.3.2 Pembuatan Array NumPy.....	58
2.3.3 Atribut Array.....	59
2.3.4 Operasi Array Dasar (Aritmatika Elemen-demi-Elemen).....	60
2.3.5 Universal Functions (ufuncs)	61
2.3.6 Indexing dan Slicing	61
2.3.7 Fungsi Matematika dan Statistik Dasar	63
2.3.8 Contoh Aplikasi dalam Komputasi Astronomi.....	63
2.4 Memahami Pandas untuk Pengolahan Data Tabel	65
2.4.1 Pengenalan Pandas, Struktur Data Series dan DataFrame	65
2.4.2 Pembuatan DataFrame.....	66
2.4.3 Inspeksi Data	67
2.4.4 Seleksi Data.....	68
2.4.5 Manipulasi Data	69
2.4.6 Membaca dan Menulis File (Fokus pada CSV).....	71
2.4.7 Contoh Aplikasi dalam Astronomi	72
2.4.8 Perbandingan Astropy Table dengan Pandas DataFrame untuk Data Astronomi	72
2.5 Dasar-dasar Plotting dengan Matplotlib dan Seaborn	75
2.5.1 Pengenalan Matplotlib dan Pyplot.....	75
2.5.2 Membuat Plot Dasar dengan Pyplot	76
2.5.3 Kustomisasi Plot	77
2.5.4 Subplots (Beberapa Plot dalam Satu Figure).....	78
2.5.5 Menyimpan Plot (plt.savefig())	79
2.5.6 Pengenalan Seaborn dan Keunggulannya	79
2.5.7 Contoh Plot Statistik dengan Seaborn (menggunakan Pandas DataFrame)	80
2.5.8 Contoh Visualisasi Data Astronomi.....	82

2.6 Kesimpulan.....	84
BAB III	89
SISTEM KOORDINAT DAN WAKTU DALAM ASTRONOMI.....	89
3.1 Sistem Koordinat Langit	90
3.1.1 Konsep Bola Langit dan Titik-Titik Referensi Fundamental.....	90
3.1.2 Sistem Koordinat Horisontal (Alt-Azimut)	91
3.1.3 Sistem Koordinat Ekuatorial (Asensio Rekta & Deklinasi)	93
3.1.4 Sistem Koordinat Ekliptika	98
3.1.5 Transformasi Antar Sistem Koordinat	100
3.1.6 Tabel Perbandingan Sistem Koordinat Langit.....	103
3.2 Konsep Waktu dalam Astronomi.....	105
3.2.1 Waktu Matahari Sejati (Apparent Solar Time)	105
3.2.2 Waktu Matahari Rata-rata (Mean Solar Time)	106
3.2.3 Waktu Universal (Universal Time, UT) dan Skala Waktu Terkait.....	108
3.2.4 Waktu Sidereal (Sidereal Time)	111
3.2.5 Waktu Julian (Julian Date, JD)	113
3.3 Perhitungan Penanggalan dan Konversi Tanggal-Waktu.....	115
3.3.1 Kalender Gregorian	115
3.3.2 Kalender Hijriah (Islam)	116
3.3.3 Konversi Antara Kalender Gregorian dan Hijriah.....	118
3.3.4 Zona Waktu dan Konversi ke UTC.....	120
3.4 Penggunaan Library Astropy atau Skyfield untuk Konversi Koordinat dan Waktu.....	122
3.4.1 Pengantar Python untuk Komputasi Ilmiah dalam Astronomi.....	122
3.4.2 Library Numerik dan Analisis Data Dasar	124
3.4.3 Astropy: Pustaka Inti untuk Astronomi dalam Python	126
4.3 Komponen Fundamental Sistem Koordinat Ekliptika	164
4.3.1 Bidang Ekliptika.....	164
4.3.2 Titik Aries (Ekuinoks Vernal / Titik Musim Semi)	165
4.3.3 Bujur Ekliptika (λ).....	166
4.3.4 Lintang Ekliptika (β).....	166
4.3.5 Kutub Ekliptika.....	166
4.4 Dinamika Referensi: Presesi Ekuinoks	167
4.4.1 Mekanisme Presesi	167
4.4.2 Penyebab Utama.....	167

4.4.3 Dampak pada Titik Aries	168
4.4.4 Konsekuensi pada Koordinat Eklptika	168
4.5 Variasi Tambahan: Nutasi	169
4.5.1 Definisi Nutasi	169
4.5.2 Penyebab Nutasi	169
4.5.3 Periode dan Amplitudo Utama	170
4.5.4 Pengaruh pada Pengukuran Presisi Tinggi	170
4.6 Aplikasi Sistem Koordinat Eklptika	171
4.6.1 Studi Objek Tata Surya	171
4.6.2 Prediksi Fenomena Astronomi	172
4.6.3 Perspektif Heliosentrik dan Geosentrik	173
4.7 Relasi dengan Sistem Koordinat Ekuatorial	174
4.7.1 Perbandingan Dasar	174
4.7.2 Koordinat Ekuatorial (Pengenalan Singkat)	174
4.7.3 Hubungan Geometris: Kemiringan Eklptika (Oblikuitas, ε)	175
4.7.4 Transformasi Koordinat	175
4.7.5 Konteks Penggunaan	176
4.8 Pentingnya Epos Standar dalam Astronomi	177
4.8.1 Konsep Epos Referensi	178
4.8.1 Contoh Epos Utama	178
4.8.2 Mengatasi Efek Presesi dan Nutasi	179
4.8.3 Perbedaan Epos Julian dan Besselian	180
4.9 Kesimpulan	181
BAB V	192
KONVERSI KALENDER HIJRIAH - MASEHI	192
5.1 Sejarah dan Struktur Kalender Hijriah	193
5.1.1 Penetapan Kalender Hijriah	193
5.1.2 Struktur Dasar Kalender Hijriah Kamariyah	194
5.1.3 Kalender Hijriah Urfi (Konvensional/Hisab Adadi)	195
5.2 Algoritma Konversi Kalender Berbasis Tabel	197
5.2.1 Prinsip Dasar Konversi Berbasis Tabel	197
5.2.2 Kalender Ummul Qura	198
5.2.3 Kalender Muhammadiyah (Hisab Hakiki Wujudul Hilal)	200
5.2.4 Langkah-langkah Praktis Konversi Menggunakan Tabel (Contoh Umum)	202

5.3 Perhitungan Kalender Hijriah Astronomis.....	203
5.3.1 Pentingnya Presisi dalam Perhitungan Astronomis untuk Kalender	203
5.3.2 Parameter Astronomis Kunci untuk Awal Bulan Hijriah	204
5.3.3 Kriteria Visibilitas Hilal (Imkanur Rukyat).....	206
5.3.4 Algoritma Dasar Perhitungan Astronomis (Konseptual)	208
5.3.5 Konsep Julian Day Number (JDN) dalam Konversi	209
5.4 Membangun Fungsi Konversi Kalender dengan Python.....	211
5.4.1 Pengenalan Pustaka Python untuk Kalender Islam	212
5.4.2 Contoh Kode Konversi Masehi ke Hijriah	213
5.4.3 Contoh Kode Konversi Hijriah ke Masehi.....	214
5.4.4 Penjelasan Kode dan Pertimbangan.....	215
5.5 Kesimpulan	216
BAB VI	224
KALENDER HIJRIAH GLOBAL TUNGGAL (KHGT)	224
6.1 Pendahuluan: Konsep, Urgensi, dan Tujuan KHGT	224
6.3 Latar Belakang Sejarah dan Upaya Internasional Menuju KHGT.....	232
6.4 Adopsi Kalender Hijriah Global Tunggal oleh Muhammadiyah.....	235
6.5 Analisis Komparatif KHGT dengan Sistem Kalender Hijriah Lainnya	238
6.6 Manfaat, Keunggulan, dan Potensi Dampak Positif KHGT	243
6.7 Tantangan Implementasi, Kritik, dan Prospek Masa Depan KHGT	245
6.8 Kesimpulan dan Rekomendasi.....	249
BAB VII	259
KRITERIA VISIBILITAS HILAL: TEORI DAN PERHITUNGAN	259
7.1 Pendahuluan	259
7.2 Definisi dan Signifikansi Hilal dalam Syariat Islam	260
7.2.1 Pengertian Hilal: Etimologi dan Terminologi Astronomi Islam.....	260
7.2.2 Landasan Syar'i Signifikansi Hilal: Dalil Al-Qur'an dan Hadis	261
7.2.3 Peran Sentral Hilal dalam Penetapan Waktu Ibadah.....	263
7.3 Kriteria Imkanur Rukyat	265
7.3.1 Konsep Dasar dan Filosofi Imkanur Rukyat.....	265
7.3.2 Sejarah Perkembangan dan Evolusi Kriteria Imkanur Rukyat MABIMS.....	266
7.3.3 Kriteria Imkanur Rukyat Kementerian Agama RI	268
7.3.4 Landasan Ilmiah dan Justifikasi Astronomis Kriteria MABIMS	269
7.3.5 Perbandingan Kriteria MABIMS dengan Kriteria Internasional Lainnya	272
7.3.6 Analisis Kelebihan, Tantangan, dan Implikasi Penerapan Kriteria Imkanur Rukyat	275

7.4 Kriteria Wujudul Hilal (Muhammadiyah)	277
7.4.1 Definisi, Prinsip Dasar, dan Parameter Kunci Kriteria Wujudul Hilal	277
7.4.2 Argumentasi Syar'i dan Ilmiah-Rasional Muhammadiyah dalam Penggunaan Kriteria Wujudul Hilal	278
7.4.3 Perbandingan Detail Kriteria Wujudul Hilal dengan Imkanur Rukyat MABIMS	280
7.4.4 Kriteria Hilal Organisasi Islam Lain di Indonesia	284
7.5 Parameter Penting untuk Visibilitas Hilal dan Perhitungannya	286
7.5.1 Ketinggian Hilal (Moon's Altitude)	286
7.5.2 Beda Azimut Matahari-Bulan (Moon's Azimut vs Sun's Azimut / DAZ)	286
7.5.3 Elongasi Bulan-Matahari (Elongation / ARCL)	287
7.5.4 Usia Hilal (Moon's Age)	288
7.5.5 Lebar Sabit Hilal (Crescent Width / W)	288
7.5.6 Selisih Waktu Terbenam Matahari-Bulan (Lag Time / Mukutsul Hilal)	289
7.5.7 Faktor-faktor Non-Astronomis yang Mempengaruhi Visibilitas	289
7.5.8 Model-model Prediksi Visibilitas Hilal Populer: Prinsip dan Parameter	291
7.6 Sintesis dan Arah ke Depan	294
BAB VIII	303
MEMBANGUN APLIKASI PREDIKSI HILAL DENGAN PYTHON	303
8.1 Pendahuluan: Signifikansi Prediksi Hilal dan Peran Python	303
8.2 Integrasi: Perhitungan Posisi Matahari-Bulan dengan Kriteria Hilal	304
8.2.1 Dasar-Dasar Astronomi untuk Prediksi Hilal	304
8.2.2 Kriteria Visibilitas Hilal Populer	306
8.2.3 Pustaka Python untuk Perhitungan Astronomi	308
8.3 Desain: Modul dan Fungsi untuk Prediksi Hilal	310
8.3.1 Prinsip Desain Modular	310
8.3.2 Struktur Direktori Proyek	311
8.3.3 Desain Modul Inti (core_calculations.py)	312
8.3.4 Desain Modul Kriteria (hilal_criteria.py)	319
8.3.5 Desain Modul Utilitas (utils.py)	323
8.4 Pengembangan: Antarmuka Sederhana (CLI atau GUI dasar dengan Tkinter/PyQt)	324
8.4.1 Membangun Antarmuka Baris Perintah (CLI)	324
8.4.2 Membangun Antarmuka Grafis Pengguna (GUI) Dasar	329
8.5 Visualisasi: Hasil Prediksi (Peta Visibilitas, Grafik Posisi Hilal)	335
8.5.1 Membuat Grafik Posisi Relatif Hilal	335
8.5.2 Membuat Peta Visibilitas Hilal Global	338
8.6 Rangkuman dan Pengembangan Lebih Lanjut	344

BAB X.....	392
KESIMPULAN DAN PENGEMBANGAN LANJUT	392
10.1 Ringkasan: Pembelajaran dan Tantangan dalam Astronomi Islam Komputasi.....	392
10.1.1 Refleksi atas Kemajuan dan Pencapaian Terkini	392
10.1.2 Identifikasi Tantangan Utama (Teknis, Metodologis, dan Sosio-Religius)	393
10.1.3 Pembelajaran Kunci dari Implementasi Metode Komputasi dalam Astronomi.....	395
10.2 Potensi: Pengembangan Aplikasi Lebih Lanjut dalam Astronomi Islam Komputasi.....	397
10.2.1 Integrasi API untuk Peningkatan Fungsionalitas Aplikasi Falak.....	397
10.2.2 Pengembangan Aplikasi Berbasis Web dan Seluler yang Interaktif dan Informatif	398
10.2.3 Personalisasi dan Peningkatan Pengalaman Pengguna dalam Aplikasi Falak.....	399
10.3 Masa Depan: Peran Python dalam Kemajuan Astronomi.....	400
10.3.1 Keunggulan Python dan Ekosistemnya (Skyfield, Astropy) untuk Kalkulasi Falak....	402
10.3.2 Aplikasi Python dalam Prediksi Hilal, Waktu Salat, dan Arah Kiblat	404
10.3.3 Prospek Pemanfaatan Teknik Lanjut: <i>Machine Learning</i> dan Analisis Data Besar...	405
10.3.4 Praktik Terbaik dalam Pengembangan Perangkat Lunak Falak Berbasis Python	406
10.4 Rekomendasi: Sumber Belajar Tambahan dan Arah Penelitian Selanjutnya	410
10.4.1 Jurnal Ilmiah Bereputasi sebagai Referensi Utama (Nasional dan Internasional)	410
10.4.2 Literatur Kunci: Buku Teks Astronomi Islam dan Komputasi Astronomi dengan Python	411
10.4.3 Platform Pembelajaran Daring, Komunitas, dan Proyek Kolaboratif (ICOP, <i>Citizen Science</i>).....	413
10.4.4 Arah Penelitian Masa Depan yang Prospektif	414

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR ISTILAH/GLOSSARIUM

BAB I

MENGAPA PYTHON UNTUK ASTRONOMI ISLAM?

1.1 Pengantar: Astronomi dalam Bingkai Peradaban Manusia dan Islam

Astronomi, sebagai salah satu cabang ilmu pengetahuan tertua, telah mendampingi perjalanan peradaban manusia sejak ribuan tahun silam. Mulai dari peradaban Mesopotamia dan Mesir kuno yang memanfaatkan pengetahuan langit untuk pertanian dan ritual keagamaan, hingga Yunani klasik yang meletakkan dasar-dasar model kosmologi geometris, pengamatan benda-benda langit secara konsisten telah menjadi fondasi bagi navigasi maritim dan darat, penentuan waktu yang akurat, hingga penafsiran berbagai fenomena alam. Dalam konteks peradaban Islam, studi tentang benda-benda langit ini lebih dikenal dengan istilah Astronomi.¹ Astronomi, secara definitif, adalah ilmu yang mempelajari lintasan benda-benda langit—termasuk Matahari, Bulan, bintang-bintang, dan planet-planet—dengan tujuan utama untuk mengetahui posisi dan kedudukan benda-benda langit tersebut dari perspektif pengamat di Bumi, serta untuk memahami fenomena-fenomena yang terkait dengannya.¹

Namun, Astronomi dalam tradisi Islam memiliki signifikansi yang jauh lebih mendalam dan multidimensional dibandingkan sekadar observasi dan kalkulasi astronomis. Ia tidak hanya berorientasi pada pengembangan pengetahuan murni mengenai alam semesta (*theoretical astronomy*), tetapi juga secara inheren merupakan sebuah sains praktis (*practical science*) yang terintegrasi secara erat dan tak terpisahkan dengan pelaksanaan berbagai aspek ibadah dan syariat Islam.³ Distingsi ini menjadi krusial karena ia membentuk karakter unik Astronomi dalam sejarah sains Islam. Kebutuhan praktis untuk menentukan waktu-waktu salat lima waktu secara presisi, menetapkan arah kiblat (arah Kakbah di Mekah) dari berbagai penjuru dunia, menandai awal dan akhir bulan Ramadan untuk pelaksanaan ibadah puasa, menentukan tanggal hari raya Idul Fitri dan Idul Adha, hingga mengatur waktu pelaksanaan ibadah haji, semuanya sangat bergantung pada pemahaman yang akurat mengenai posisi dan pergerakan Matahari, Bulan, dan formasi bintang-bintang.

Lebih lanjut, signifikansi Astronomi dalam Islam melampaui aspek praktis-ritualistik semata. Terdapat dimensi teologis dan filosofis yang mendasari dan mendorong perkembangan ilmu ini. Al-Qur'an, sebagai kitab suci umat Islam, memuat banyak ayat

yang mengajak manusia untuk merenungkan keteraturan alam semesta, termasuk pergerakan benda-benda langit, sebagai tanda-tanda (ayat) kebesaran Allah SWT.⁴ Misalnya, dalam Surat Al-Anbiya (21) ayat 33 disebutkan,

وَهُوَ الَّذِي خَلَقَ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ (33)

(Dan Dialah yang telah menciptakan malam dan siang, matahari dan bulan. Masing-masing dari keduanya itu beredar di dalam garis edarnya). Demikian pula dalam Surat Yasin (36) ayat 40,

لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْقَمَرَ وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ (40)

(Tidaklah mungkin bagi matahari mendapatkan bulan dan malampun tidak dapat mendahului siang. Dan masing-masing beredar pada garis edarnya).

Ayat-ayat seperti ini, bersama dengan penekanan pada konsep *hisab* (perhitungan) seperti dalam Surat Ar-Rahman (55) ayat 5,

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ (5)

“(Matahari dan bulan (beredar) menurut perhitungan)”, tidak hanya menjadi sumber inspirasi pasif, tetapi secara aktif membentuk etos ilmiah di mana studi astronomi dipandang sebagai bentuk ibadah dan sarana untuk lebih mengenal Sang Pencipta.¹ Filsafat Islam, pada gilirannya, berperan sebagai jembatan yang menghubungkan ilmu (dalam hal ini Astronomi) dengan agama, menyediakan landasan rasional yang kokoh bagi praktik-praktik ibadah yang didasarkan pada fenomena astronomis.³ Dengan demikian, kebutuhan praktis ibadah menjadi pemicu awal yang kuat, yang kemudian diperkuat oleh landasan teologis dari Al-Qur'an yang mendorong observasi dan kalkulasi (*hisab*). Perintah untuk "membaca" (Iqra) dan memperhatikan "tanda-tanda" (ayat) di alam semesta menciptakan suatu budaya intelektual di mana penyelidikan ilmiah, termasuk astronomi, menjadi bagian integral dari ketaatan religius. Pemahaman ini esensial untuk mengapresiasi motivasi para ilmuwan Muslim dan pesatnya perkembangan Astronomi dalam sejarah peradaban Islam.

1.2 Sejarah Kegemilangan dan Kontribusi Peradaban Islam dalam Astronomi

Perkembangan Astronomi dalam peradaban Islam tidak dapat dilepaskan dari dorongan kuat kebutuhan praktis keagamaan. Seiring dengan meluasnya wilayah kekuasaan Islam, muncul tantangan-tantangan baru yang memerlukan solusi berbasis astronomi.

1.2.1 Dorongan Kebutuhan Praktis Keagamaan sebagai Katalisator

Kebutuhan untuk menentukan waktu-waktu salat secara akurat di berbagai lokasi geografis yang beragam, mulai dari Andalusia di barat hingga Asia Tengah di timur, menjadi salah satu pendorong utama. Demikian pula, penentuan arah kiblat yang presisi dari tempat-tempat yang jauh dari Mekah memerlukan pemahaman mendalam tentang geometri bola dan posisi benda-benda langit. Penyusunan kalender Hijriah, yang bersifat lunar murni, agar tetap sinkron dengan siklus Bulan dan dapat digunakan untuk menentukan awal bulan-bulan penting seperti Ramadan, Syawal (untuk Idul Fitri), dan Zulhijah (untuk Idul Adha dan ibadah haji), juga menjadi fokus utama para astronom Muslim. Urgensi Astronomi dalam Hukum Islam ini ditegaskan dalam berbagai literatur, termasuk adanya hadis yang menganjurkan untuk memperhatikan Matahari dan Bulan dalam rangka mengingat Allah, serta pernyataan dari Sahabat Ali bin Abi Thalib bahwa mempelajari ilmu bintang-bintang (benda langit) bagi orang yang memahami Al-Qur'an akan menambah iman dan keyakinannya.¹

1.2.2 Masa Keemasan Islam: Era Inovasi dan Penemuan

Periode antara abad ke-8 hingga ke-13 Masehi, yang sering disebut sebagai Masa Keemasan Islam, menjadi saksi bisu perkembangan pesat Astronomi, yang didorong oleh sinergi antara kebutuhan praktis keagamaan dan semangat intelektual yang tinggi.

Konteks Intelektual: Gerakan Penerjemahan dan Asimilasi Kritis

Fondasi bagi kemajuan ini diletakkan oleh dukungan para khalifah, seperti Al-Mansur (pendiri Baghdad) dan Al-Ma'mun dari Dinasti Abbasiyah, yang sangat menghargai ilmu pengetahuan. Mereka mendorong pendirian lembaga-lembaga ilmiah seperti Baitul Hikmah (Rumah Kebijakan) di Baghdad, yang berfungsi sebagai pusat penerjemahan, penelitian, dan pembelajaran.⁶ Di sinilah karya-karya monumental dari peradaban-peradaban sebelumnya, terutama Yunani (misalnya, *Almagest* karya Ptolemy), Persia (seperti tabel astronomi *Zij-i Shah* ⁹), dan India (misalnya, *Sindhind* atau *Siddhanta* ⁶), diterjemahkan secara masif ke dalam bahasa Arab. Penting untuk

ditekankan bahwa proses ini bukanlah sekadar penyalinan pasif. Para ilmuwan Muslim melakukan asimilasi kritis: mereka mempelajari, memberi komentar, menguji, dan tidak jarang melakukan koreksi serta penyempurnaan terhadap pengetahuan warisan tersebut.

Ilmuwan Muslim Terkemuka dan Karya Monumental Mereka

Dari rahim gerakan intelektual ini, lahirlah sederet ilmuwan Muslim yang kontribusinya tidak hanya melestarikan tetapi juga secara signifikan memajukan Astronomi.

- **Muhammad ibn Musa al-Khawarizmi (sekitar 780–850 M / 163–235/236 H):** Seorang ahli matematika dan astronom Persia yang karyanya menjadi fundamental. Buku terkenalnya, *Al-Kitab al-Mukhtasar fi Hisab al-Jabr wal-Muqabala*, memperkenalkan metode sistematis untuk menyelesaikan persamaan linear dan kuadrat, yang kemudian menjadi dasar bagi banyak perhitungan astronomi.⁵ Istilah "aljabar" sendiri berasal dari judul karyanya. Dalam bidang astronomi, Al-Khawarizmi menyusun tabel astronomi penting yang dikenal sebagai *Zij al-Sindhind*. Tabel ini merupakan sintesis dari pengetahuan astronomi India dan Yunani, dan berisi data pergerakan Matahari, Bulan, serta lima planet yang dikenal saat itu.⁶ Ia juga memberikan kontribusi dalam bidang geografi dengan merevisi data geografis Ptolemy dalam karyanya *Kitab Surat al-Ard* (Buku Kenampakan Bumi)⁶, serta mengembangkan tabel trigonometri yang akurat, termasuk tabel sinus, kosinus, dan tabel tangen pertama.¹²
- **Abu Abdullah Muhammad ibn Jabir al-Battani (Albategnius) (sekitar 858–929 M / 243/244–316/317 H):** Dianggap sebagai salah satu astronom terbesar dalam dunia Islam abad pertengahan¹⁴, Al-Battani melakukan observasi astronomi selama lebih dari empat puluh tahun.⁶ Karya utamanya, *Kitab az-Zij as-Sabi'*, merupakan sebuah kompendium astronomi yang sangat berpengaruh. Dalam karya ini, ia menyempurnakan dan mengoreksi banyak data dan parameter yang terdapat dalam *Almagest* Ptolemy, serta menyajikan tabel pergerakan Matahari dan Bulan yang baru dan jauh lebih akurat.⁶ Salah satu pencapaiannya yang paling mengagumkan adalah perhitungan panjang tahun tropis (solar year) dengan presisi yang luar biasa untuk masanya, yaitu 365 hari, 5 jam, 46 menit, dan 24 detik. Nilai ini hanya berselisih sekitar 2 menit 22 detik dari nilai yang diterima secara modern.⁶ Al-Battani juga menunjukkan bahwa jarak antara Bumi dan Matahari bervariasi, yang memungkinkannya menjelaskan penyebab terjadinya gerhana Matahari cincin.⁶ Ia juga berkontribusi besar dalam pengembangan trigonometri dengan memperkenalkan penggunaan fungsi sinus dan tangen dalam perhitungan astronomi, menggantikan metode geometris yang lebih rumit yang digunakan oleh

para astronom Yunani, dan ia mengembangkan beberapa hubungan trigonometri penting.⁵ Selain itu, ia berhasil menentukan nilai kemiringan ekliptika dan laju presesi ekuinoks dengan lebih akurat dibandingkan Ptolemy.¹⁴

- **Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973–1048 M / 362/363–439/440 H):** Seorang ilmuwan ensiklopedis (polymath) yang kejeniusannya melintasi berbagai disiplin ilmu, mulai dari astronomi, matematika, fisika, geografi, sejarah, hingga farmakologi.⁶ Karya astronomi monumentalnya adalah *Al-Qanun al-Mas'udi* (Kanon Mas'udi), sebuah ensiklopedia astronomi yang sangat komprehensif. Di dalamnya, Al-Biruni membahas beragam topik, mulai dari prinsip-prinsip trigonometri sferis, metode proyeksi peta, hingga teori gerakan planet. Salah satu observasi pentingnya adalah kesimpulan bahwa apogeum Matahari (titik terjauh orbit Matahari dari Bumi, atau sebaliknya, titik terjauh orbit Bumi dari Matahari dalam model heliosentris) bersifat *mobile* (bergerak), bukan tetap seperti yang dikemukakan oleh Ptolemy.¹⁷ Al-Biruni juga memberikan kontribusi signifikan dalam bidang geodesi, termasuk mengembangkan metode untuk mengukur jari-jari Bumi dengan akurasi yang mengesankan.¹⁸ Ia juga menulis risalah tentang astrolabe dan berbagai metode penggunaannya.¹⁷ Karya-karyanya yang lain, seperti *Tahqiq ma li'l-Hind* (Studi tentang India) dan *Al-Athar al-Baqiyah 'an al-Qurun al-Khaliyah* (Kronologi Bangsa-Bangsa Kuno), menunjukkan kedalaman intelektual dan keluasan minatnya.
- **Nasir al-Din al-Tusi (1201–1274 M / 597/598–672/673 H):** Seorang filsuf, matematikawan, dan astronom terkemuka yang menjabat sebagai direktur Observatorium Maragha di Persia (Iran saat ini).¹⁹ Salah satu kontribusi teoretisnya yang paling terkenal adalah pengembangan "Tusi-couple," sebuah model geometris yang cerdas untuk menjelaskan gerak linear dari kombinasi dua gerak melingkar. Model ini digunakannya untuk mereformasi beberapa aspek model planet Ptolemaik yang problematik dan kemudian diketahui memiliki kemiripan dengan mekanisme yang digunakan oleh Nicolaus Copernicus dalam model heliosentrisnya berabad-abad kemudian.²⁰ Berdasarkan observasi yang dilakukan di Maragha, Al-Tusi dan timnya menyusun *Zij-i Ilkhani* (Tabel-Tabel Ilkhanik), yaitu serangkaian tabel astronomi yang sangat akurat dan menjadi rujukan penting pada masanya.¹⁹ Al-Tusi juga dianggap sebagai salah satu tokoh kunci yang mengembangkan trigonometri sebagai disiplin matematika yang independen dari astronomi.¹⁹

Para ilmuwan ini, dan banyak lainnya seperti **Ibnu Yunus** (penyusun Tabel Hakimit yang akurat), **Al-Farghani** (yang kompendium astronomi Ptolemaiknya, *Jawami' 'Ilm al-Nujum*, sangat mempopulerkan *Almagest* di Barat setelah diterjemahkan ke bahasa

Latin ²¹⁾, dan **Ibn al-Shatir** dari Damaskus (yang mengembangkan model planet non-Ptolemaik juga menunjukkan kemiripan mengejutkan dengan model Copernicus ¹¹⁾), tidak bekerja dalam ruang hampa. Mereka membangun di atas karya-karya pendahulu mereka, baik dari peradaban lain maupun dari sesama Muslim. Munculnya tradisi kritik (*shukuk*) terhadap teori-teori Ptolemy, misalnya, menunjukkan adanya semangat ilmiah yang dinamis dan tidak sekadar menerima pengetahuan warisan secara dogmatis. Al-Battani mengoreksi nilai-nilai observasional Ptolemy; Al-Biruni mengkritik konsep Ptolemaik tentang apogeum Matahari yang tetap; sementara Al-Tusi dan Ibn al-Shatir secara aktif mengembangkan model-model planet alternatif. Ini semua membuktikan bahwa "Masa Keemasan" Islam bukan hanya periode akumulasi dan pelestarian pengetahuan, tetapi juga era inovasi yang signifikan melalui evaluasi kritis dan penelitian orisinal.

Observatorium sebagai Institusi Riset dan Pendidikan Terpadu

Salah satu manifestasi paling nyata dari kemajuan Astronomi pada masa ini adalah pendirian observatorium-observatorium besar yang berfungsi sebagai pusat riset dan pendidikan.

- **Observatorium Baghdad (Al-Shammasiyyah):** Didirikan oleh Khalifah Al-Ma'mun sekitar tahun 828 M (212/213 H) di Baghdad.⁷ Observatorium ini merupakan salah satu fasilitas observasi astronomi terstruktur pertama di dunia Islam dan dirancang untuk melakukan program observasi sistematis guna memverifikasi dan memperbaiki data-data astronomi yang diwarisi dari Ptolemy.
- **Observatorium Damaskus (Qasiyun):** Juga merupakan inisiatif Khalifah Al-Ma'mun, observatorium ini didirikan di Gunung Qasiyun, Damaskus.⁷ Dilaporkan bahwa observatorium ini dilengkapi dengan instrumen-instrumen yang dirancang dengan cermat dan diawasi oleh sebuah komite ilmiah yang terdiri dari para astronom terkemuka.²³
- **Observatorium Maragha (Iran):** Didirikan atas prakarsa Nasir al-Din al-Tusi di bawah patronase Hulagu Khan sekitar tahun 1259 M (656/657 H).¹⁹ Observatorium Maragha bukan sekadar tempat pengamatan, melainkan sebuah institusi riset berskala besar yang dilengkapi dengan perpustakaan yang sangat luas (konon menyimpan hingga 400.000 volume naskah), serta menjadi tempat berkumpulnya staf ilmuwan dari berbagai bangsa, termasuk dari Cina, Georgia, dan wilayah Arab lainnya.¹⁹ Observatorium ini juga memiliki sekolah untuk melatih para spesialis dalam bidang astronomi dan matematika. Produk utama dari observatorium ini adalah *Zij-i Ilkhani* yang telah disebutkan sebelumnya.
- **Observatorium Samarkand (Uzbekistan):** Didirikan oleh Ulugh Beg, seorang

pangeran dan astronom dari Dinasti Timuriyah (cucu dari Timur Leng), pada dekade 1420-an.²⁴ Observatorium ini menjadi sangat terkenal karena instrumen utamanya, yaitu sebuah sekstan Fakhri raksasa yang terbuat dari marmer dengan radius sekitar 40 meter.²⁴ Ukuran yang masif ini memungkinkan dilakukannya pengukuran posisi benda-benda langit dengan tingkat presisi yang belum pernah tercapai sebelumnya. Hasil observasi dari Samarkand dituangkan dalam *Zij-i Sultani* (Tabel-Tabel Sultan), sebuah katalog bintang dan tabel astronomi yang sangat akurat dan berpengaruh luas hingga berabad-abad kemudian.²⁴

Meskipun observatorium-observatorium Islam ini seringkali didanai oleh penguasa dan kelangsungannya bergantung pada patronase tersebut—sehingga beberapa di antaranya mungkin berumur relatif pendek—mereka adalah institusi ilmiah yang didedikasikan untuk riset mendalam dalam astronomi dan disiplin-disiplin ilmu pendukungnya, bukan semata-mata untuk praktik astrologi.²³ Pendirian fasilitas-fasilitas ini menandai pergeseran signifikan dari observasi yang bersifat individual ke upaya ilmiah yang terorganisir, terstruktur, dan didanai oleh negara atau penguasa. Keberadaan perpustakaan dan sekolah, seperti yang terdapat di Maragha, menunjukkan adanya visi jangka panjang untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan regenerasi ilmuwan. Ukuran instrumen yang monumental, seperti sekstan di Samarkand atau sekstan Al-Khujandi di Rayy (yang juga memiliki radius sekitar 20 meter ²⁶), mencerminkan komitmen yang kuat terhadap peningkatan akurasi data observasional.

Pengembangan dan Inovasi Instrumen Astronomi

Kemajuan teoretis dalam Astronomi diiringi pula oleh inovasi signifikan dalam perancangan dan pembuatan instrumen astronomi.

- **Astrolabe:** Dapat disebut sebagai "komputer analog" serbaguna pada masanya, astrolabe disempurnakan secara luar biasa di dunia Islam.⁹ Instrumen ini digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk menentukan waktu (termasuk waktu salat), menemukan arah kiblat, membantu navigasi di laut dan darat, mengukur ketinggian bintang, dan melakukan berbagai macam perhitungan astronomis lainnya.²⁷ Matematikawan abad ke-8, Muhammad al-Fazari, sering dikreditkan sebagai orang pertama yang membangun astrolabe dalam tradisi Islam.¹⁰ Astronom abad ke-10, Abd al-Rahman al-Sufi, bahkan dilaporkan mendeskripsikan lebih dari 1.000 penggunaan berbeda untuk astrolabe.²⁷ Berbagai jenis astrolabe dikembangkan, termasuk astrolabe planar (yang paling umum), astrolabe sferis (dikaitkan dengan Al-Nayrizi), dan astrolabe linear (dikenal sebagai "tongkat al-Tusi").²⁷
- **Kuadran (Rub'):** Instrumen berbentuk seperempat lingkaran ini digunakan untuk

mengukur ketinggian (altitude) benda-benda langit.⁹ Inovasi yang dilakukan oleh para ilmuwan Muslim meliputi pengembangan berbagai jenis kuadran, seperti kuadran sinus (untuk perhitungan trigonometri), kuadran horary (untuk menentukan waktu berdasarkan ketinggian Matahari), dan kuadran *almucantar* (untuk menentukan azimut dan altitude).⁹ Kuadran mural (ditempelkan pada dinding) berukuran besar digunakan di observatorium-observatorium untuk melakukan pengukuran meridian dengan presisi tinggi.²⁶

- **Sekstan:** Instrumen berbentuk seperenam lingkaran ini memungkinkan pengukuran sudut yang lebih besar atau dengan skala yang lebih halus dibandingkan kuadran dengan ukuran yang sama. Contoh yang paling terkenal adalah Sekstan Fakhri (al-Suds al-Fakhri) yang digunakan oleh astronom Al-Khujandi di Rayy pada akhir abad ke-10. Dengan radius sekitar 20 meter, instrumen ini digunakan untuk mengukur kemiringan ekliptika dengan presisi yang sangat tinggi.²⁶ Sekstan raksasa di Observatorium Samarkand, dengan radius sekitar 40 meter, adalah contoh lain dari upaya mencapai akurasi maksimal melalui skala instrumen yang besar.²⁴
- **Instrumen Lainnya:** Selain instrumen-instrumen utama di atas, para astronom Muslim juga mengembangkan dan menyempurnakan berbagai alat bantu lainnya, seperti bola langit (celestial globes) untuk memetakan posisi bintang, armillary sphere (model kerangka bola langit) untuk demonstrasi dan perhitungan, serta jam matahari (sundial) yang desainnya ditingkatkan untuk akurasi penentuan waktu yang lebih baik.⁹

Pengembangan instrumen-instrumen ini tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan akan data observasional yang lebih akurat. Data ini diperlukan untuk memvalidasi atau mengoreksi teori-teori astronomi yang ada (khususnya model Ptolemaik) dan, yang tidak kalah penting, untuk memenuhi tuntutan praktis keagamaan yang memerlukan presisi tinggi. Semakin besar ukuran sebuah instrumen, umumnya semakin halus skala pengukurannya, yang berarti potensi untuk mencapai presisi yang lebih tinggi dalam observasi.¹⁴ Inovasi seperti penambahan skala sudut yang lebih detail dan lingkaran-lingkaran azimut pada pelat astrolabe²⁷ menunjukkan adanya upaya berkelanjutan untuk meningkatkan fungsionalitas dan akurasi instrumen astronomi.

Warisan Abadi: Pengaruh Astronomi Islam terhadap Dunia

Kontribusi peradaban Islam dalam Astronomi tidak hanya berhenti pada batas-batas dunia Muslim. Mulai abad ke-12 dan seterusnya, banyak karya ilmiah para astronom Muslim, termasuk tabel-tabel astronomi (*zij*), risalah tentang instrumen, dan karya-karya teoretis, diterjemahkan ke dalam bahasa Latin.¹¹ Proses penerjemahan ini

memainkan peran krusial dalam mentransmisikan kembali pengetahuan astronomi klasik yang telah diperkaya dan dikembangkan oleh ilmuwan Muslim ke Eropa, yang pada gilirannya turut memicu Renaisans ilmiah di benua tersebut. *Zij* Al-Khawarizmi dan Al-Battani, misalnya, menjadi buku rujukan standar bagi para astronom Eropa selama berabad-abad.

Banyak istilah teknis dalam astronomi modern yang kita kenal saat ini berasal dari bahasa Arab, seperti "azimut" (dari *as-sumut*), "nadir" (dari *nazhir*), "zenith" (dari *samt ar-ra's*), serta nama-nama bintang seperti Algol (dari *Ra's al-Ghul*), Betelgeuse (dari *Yad al-Jauza'*), dan banyak lainnya.⁶ Lebih jauh lagi, metode observasi, model-model matematika (termasuk inovasi trigonometri), dan data astronomi yang dihasilkan oleh para ilmuwan Muslim digunakan secara ekstensif dan dikembangkan lebih lanjut oleh para astronom Eropa terkemuka pada masa Renaisans dan setelahnya, seperti Nicolaus Copernicus, Tycho Brahe, dan Johannes Kepler.⁶

Dimensi Teologis dan Filosofis yang Mendalam (Penguatan)

Sebagaimana telah disinggung sebelumnya, kemajuan pesat Astronomi dalam peradaban Islam tidak dapat dipahami sepenuhnya tanpa mengapresiasi landasan teologis dan filosofisnya. Memahami keteraturan pergerakan benda-benda langit dipandang sebagai salah satu cara untuk memahami dan menyaksikan "tanda-tanda (ayat) kebesaran Allah" yang tersebar di alam semesta, yang pada gilirannya diharapkan dapat memperkuat keimanan dan ketakwaan.¹ Astronomi, dengan demikian, adalah ilmu yang secara langsung mendukung pelaksanaan praktik-praktik keagamaan, memastikan bahwa setiap Muslim dapat menjalankan ibadahnya dengan benar dan tepat waktu. Filsafat Islam, khususnya dalam aspek ontologi (studi tentang hakikat keberadaan alam semesta), epistemologi (studi tentang bagaimana pengetahuan diperoleh dan divalidasi), dan aksiologi (studi tentang nilai dan tujuan ilmu), menyediakan kerangka kerja intelektual yang mendukung dan memberi makna pada studi Astronomi.³ Dalam pandangan ini, Astronomi tidaklah dilihat sebagai disiplin yang terisolasi, melainkan sebagai bagian integral dari sebuah sistem pemikiran yang lebih besar yang menghubungkan ilmu pengetahuan, filsafat, dan teologi.

Berikut adalah tabel ringkasan beberapa tokoh kunci dan kontribusi mereka:

Tabel 1.1: Tonggak Sejarah dan Kontribusi Ilmuwan Muslim dalam Astronomi

Nama Ilmuwan (Nama Latin/Barat)	Perkiraan Periode Hidup	Karya Utama/Observatorium Terkait	Kontribusi Signifikan Kunci	Pengaruh/Warisan
Muhammad ibn Musa al-Khawarizmi	Sekitar 780–850 M	<i>Zij al-Sindhind, Al-Jabr wal-Muqabala</i>	Pengembangan aljabar, tabel astronomi (Matahari, Bulan, planet), koreksi geografi Ptolemy, tabel trigonometri (sinus, kosinus, tangen pertama) 6	Dasar aljabar modern, pengaruh besar pada astronomi dan matematika Eropa melalui terjemahan Latin.
Abu Abdullah Muhammad ibn Jabir al-Battani (Albategnius)	Sekitar 858–929 M	<i>Kitab az-Zij as-Sabi'</i>	Koreksi data Ptolemy, perhitungan panjang tahun tropis yang sangat akurat, penjelasan gerhana Matahari cincin, pengenalan sinus & tangen dalam astronomi, pengukuran kemiringan ekliptika & presesi ekuinoks 6	Sangat berpengaruh pada astronom Eropa (Copernicus, Kepler); tabelnya digunakan berabad-abad.
Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni	973–1048 M	<i>Al-Qanun al-Mas'udi, Tahqiq ma li'l-Hind</i>	Ensiklopedia astronomi komprehensif, observasi mobilitas apogeum	Dianggap salah satu ilmuwan terbesar sepanjang masa; karyanya menunjukkan

			Matahari, metode pengukuran jari-jari Bumi, risalah astrolabe, studi mendalam tentang India ¹⁷	kedalaman analisis dan observasi.
Ibnu Yunus	Sekitar 950–1009 M	<i>Al-Zij al-Kabir al-Hakimi</i> (Tabel Hakimit)	Tabel astronomi yang sangat akurat berdasarkan observasi jangka panjang di Kairo, perbaikan parameter astronomi.	Tabelnya digunakan sebagai dasar oleh astronom-astronom berikutnya.
Nasir al-Din al-Tusi	1201–1274 M	Observatorium Maragha, <i>Zij-i Ilkhani</i> , <i>Tadhkirah fi 'ilm al-hay'a</i>	Direktur Observatorium Maragha, pengembangan "Tusi-couple" (model planet non-Ptolemaik), tabel astronomi Ilkhanik, pengembangan trigonometri sebagai ilmu mandiri ¹⁹	Model Tusi-couple memengaruhi Copernicus; Maragha menjadi model observatorium.
Ibn al-Shatir	1304–1375 M	Observatorium di Masjid Umayyah, Damaskus	Pengembangan model planet non-Ptolemaik yang secara matematis ekuivalen dengan beberapa aspek model	Karyanya menunjukkan kemungkinan jalur independen menuju reformasi model Ptolemaik sebelum Copernicus.

			Copernicus, perbaikan instrumen astronomi (jam matahari). ¹¹	
Ulugh Beg	1394–1449 M	Observatorium Samarkand, <i>Zij-i Sultani</i>	Pendiri Observatorium Samarkand dengan sekstan raksasa, menghasilkan katalog bintang dan tabel astronomi yang sangat presisi. ²⁴	Katalog bintangnya adalah yang paling akurat antara Ptolemy dan Tycho Brahe.

1.3 Transformasi Astronomi di Era Komputasi Modern

Memasuki era modern, khususnya dengan revolusi teknologi digital, Astronomi mengalami transformasi fundamental dalam metodologi dan kapabilitasnya. Peran komputasi menjadi sangat krusial, menggantikan banyak proses manual yang sebelumnya mendominasi praktik hisab (perhitungan astronomi).

1.3.1 Dari Perhitungan Manual (*Hisab*) ke Otomatisasi Digital

Secara tradisional, perhitungan astronomi dalam Astronomi sangat bergantung pada penggunaan tabel-tabel astronomi yang dikenal sebagai *zij*. Para ahli falak (falakiyun) akan melakukan perhitungan manual yang rumit, seringkali memakan waktu berjam-jam atau bahkan berhari-hari, dengan bantuan alat-alat sederhana seperti kalkulator mekanis (jika tersedia di era yang lebih modern) atau bahkan hanya dengan pena dan kertas. Kini, dengan hadirnya komputer dan perangkat lunak khusus, proses perhitungan tersebut telah mengalami otomatisasi yang luar biasa. Kalkulasi yang kompleks dapat diselesaikan dalam hitungan detik atau bahkan milidetik, membuka cakrawala baru dalam analisis dan prediksi fenomena astronomis.

1.3.2 Peran Krusial Komputasi dalam Merevolusi Astronomi

Kemampuan komputasi modern telah membawa dampak revolusioner dalam berbagai aspek Astronomi:

- **Peningkatan Akurasi dan Presisi Tinggi:** Komputer memungkinkan penggunaan algoritma numerik yang jauh lebih kompleks dan model fisika yang lebih canggih. Sebagai contoh, dalam perhitungan posisi Matahari dan Bulan, model-model modern dapat memperhitungkan perturbasi (gangguan) gravitasi dari planet-planet lain, bentuk Bumi yang tidak bulat sempurna (geoid), dan efek-efek relativistik dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi, seringkali hingga fraksi detik busur. Hisab kontemporer yang berbasis komputer mampu memanfaatkan data hasil penelitian terbaru mengenai benda-benda langit dan menerapkan koreksi-koreksi yang kompleks, menghasilkan tingkat ketelitian yang jauh melampaui metode manual.³⁰ Lebih lanjut, teknik-teknik seperti *machine learning* kini mulai diterapkan untuk meningkatkan akurasi prediksi, misalnya dalam kasus visibilitas hilal (bulan sabit muda), dengan tingkat keberhasilan prediksi dilaporkan mencapai 93% hingga 98.83% dalam studi kasus tertentu.³¹
- **Efisiensi Waktu dan Otomatisasi:** Salah satu keunggulan paling nyata dari komputasi adalah efisiensi waktu. Perhitungan yang berulang-ulang untuk berbagai lokasi geografis, rentang waktu yang panjang, atau variasi parameter dapat dilakukan secara otomatis dan cepat. Ini membebaskan para ahli falak dari tugas perhitungan manual yang monoton dan memungkinkan mereka untuk lebih fokus pada analisis, interpretasi, dan pengembangan model.
- **Fleksibilitas Perhitungan:** Perangkat lunak komputasi menawarkan fleksibilitas yang tinggi. Pengguna dapat dengan mudah mengubah parameter input—seperti koordinat lintang dan bujur suatu tempat, tanggal dan waktu spesifik, kriteria visibilitas hilal yang berbeda, atau metode perhitungan waktu salat yang beragam—untuk menghasilkan output yang sesuai dengan kebutuhan spesifik mereka.
- **Visualisasi Data Astronomi yang Kompleks:** Komputasi modern tidak hanya unggul dalam perhitungan angka, tetapi juga dalam penyajian data secara visual. Berbagai jenis visualisasi dapat dihasilkan, seperti:
 - Peta visibilitas hilal global atau regional yang menunjukkan daerah-daerah di mana hilal berpotensi terlihat.
 - Simulasi dinamis pergerakan benda-benda langit, fase-fase Bulan, atau proses terjadinya gerhana Matahari dan Bulan.
 - Grafik yang menggambarkan posisi relatif hilal terhadap Matahari pada saat Matahari terbenam, lengkap dengan parameter-parameter kunci seperti altitude dan azimut. Visualisasi semacam ini sangat membantu dalam memberikan pemahaman yang lebih intuitif dan komprehensif terhadap fenomena astronomis, dibandingkan hanya dengan melihat angka-angka

dalam tabel.

- **Fasilitasi Riset dan Pengembangan Model Baru:** Komputer menjadi alat yang sangat diperlukan bagi para peneliti Astronomi. Mereka dapat menggunakannya untuk menguji hipotesis-hipotesis baru, membandingkan berbagai model teoretis dengan data hasil observasi, dan mengembangkan model-model yang lebih akurat. Sebagai contoh, pengembangan model atmosfer yang lebih baik sangat penting untuk meningkatkan akurasi prediksi visibilitas hilal, karena kondisi atmosfer sangat memengaruhi kenampakan objek langit yang redup di dekat ufuk.³¹ Selain itu, komputer memungkinkan analisis data historis dalam skala besar untuk mengidentifikasi tren jangka panjang atau anomali dalam fenomena astronomis.

1.3.3 Aplikasi Berbasis Komputasi sebagai Standar Baru

Dengan berbagai keunggulan tersebut, aplikasi dan perangkat lunak berbasis komputasi kini telah menjadi standar dalam praktik Astronomi modern. Lembaga-lembaga keagamaan di berbagai negara memanfaatkannya untuk keperluan praktis seperti penentuan awal bulan Ramadan dan Syawal, penyusunan jadwal imsakiyah dan waktu salat, serta penentuan arah kiblat.³⁵ Observatorium-observatorium modern mengandalkan sistem komputasi untuk pengendalian teleskop, akuisisi data, dan analisis hasil observasi. Para peneliti Astronomi menggunakan perangkat lunak untuk pemodelan dan simulasi. Bahkan, individu Muslim dalam kehidupan sehari-hari kini banyak yang menggunakan aplikasi di ponsel pintar untuk mengetahui waktu salat atau arah kiblat. Contoh perangkat lunak yang disebut dalam salah satu sumber adalah "Accurate Times", yang memiliki fungsi untuk penentuan awal bulan, arah kiblat, waktu salat, dan lain-lain dengan kemampuan pengaturan sesuai tata koordinat internasional.³⁰

1.4 Python: Pilihan Unggul untuk Komputasi Astronomi Islam di Era Digital

Di tengah beragamnya pilihan bahasa pemrograman dan perangkat lunak yang tersedia, Python muncul sebagai salah satu pilihan yang paling kuat, relevan, dan semakin populer untuk pengembangan aplikasi dalam bidang Astronomi dan komputasi astronomi secara umum. Popularitas Python bukan tanpa alasan; ia menawarkan kombinasi unik antara kemudahan penggunaan, fleksibilitas, dan ekosistem pendukung yang sangat kaya.

1.4.1 Mengapa Python? Tinjauan Umum Keunggulan Kompetitif

Beberapa faktor utama menjadikan Python sangat direkomendasikan untuk aplikasi komputasi astronomi, termasuk dalam konteks Astronomi:

- **Sintaks yang Mudah Dipelajari dan Dibaca:** Salah satu keunggulan Python yang paling sering disebut adalah sintaksnya yang bersih, intuitif, dan sangat mirip dengan bahasa Inggris sehari-hari.³⁶ Hal ini membuatnya relatif mudah dipelajari, bahkan oleh individu yang tidak memiliki latar belakang pendidikan formal dalam ilmu komputer atau pemrograman. Bagi para ahli syariah, praktisi falak tradisional, sejarawan, atau mahasiswa dari berbagai disiplin ilmu yang tertarik pada Astronomi, kemudahan ini secara signifikan menurunkan ambang batas untuk dapat terlibat dalam pengembangan atau setidaknya penggunaan alat komputasi. Sintaks yang jelas juga mempermudah proses pemahaman dan pemeliharaan kode dalam jangka panjang³⁷, serta mempercepat proses pengembangan aplikasi dan memfasilitasi kolaborasi dalam tim yang bersifat multidisiplin.
- **Bahasa Interpretatif (*Interpreted Language*):** Python adalah bahasa interpretatif, yang berarti kode program dapat dieksekusi baris demi baris tanpa memerlukan proses kompilasi yang terpisah dan seringkali rumit. Fitur ini sangat membantu dalam proses *debugging* (pencarian dan perbaikan kesalahan dalam kode) karena pengembang dapat melihat hasil eksekusi secara langsung. Selain itu, sifat interpretatif ini juga mendukung pengembangan prototipe aplikasi secara cepat (*rapid prototyping*), di mana ide-ide baru dapat diuji dan diimplementasikan dengan lebih efisien.
- **Multi-Platform:** Aplikasi yang ditulis dalam Python umumnya dapat dijalankan di berbagai sistem operasi utama—seperti Windows, macOS, dan berbagai distribusi Linux—tanpa memerlukan modifikasi kode yang signifikan.³⁷ Kemampuan lintas platform ini memastikan bahwa alat atau aplikasi yang dibangun dapat diakses dan digunakan oleh khalayak pengguna yang lebih luas, tanpa terkendala oleh preferensi sistem operasi masing-masing.
- **Komunitas Global yang Besar, Aktif, dan Suportif:** Python didukung oleh salah satu komunitas pengembang terbesar dan paling aktif di dunia. Ini berarti ketersediaan sumber daya pembelajaran yang melimpah, mulai dari dokumentasi resmi, tutorial interaktif, buku-buku, hingga forum diskusi daring (seperti Stack Overflow) dan repositori kode publik (misalnya, di platform seperti GitHub³⁸). Jika seorang pengembang atau pengguna menghadapi masalah atau memerlukan bantuan, kemungkinan besar solusi atau panduan sudah tersedia atau dapat dengan mudah ditemukan melalui komunitas. Semangat kolaborasi ini juga tercermin dalam pengembangan proyek-proyek *open-source* besar berbasis

Python, seperti Astropy, yang dimulai pada tahun 2011 dari keinginan untuk menyatukan para pengembang di bidang astronomi guna mengoordinasikan upaya pengembangan alat bersama.³⁹

1.4.2 Kekuatan Ekosistem *Library* Ilmiah Python untuk Astronomi dan Astronomi

Inilah salah satu kekuatan terbesar dan alasan paling signifikan mengapa Python menjadi bahasa pilihan bagi banyak ilmuwan dan insinyur, termasuk dalam domain astronomi dan Astronomi. *Library* (atau pustaka) dalam Python adalah kumpulan modul dan fungsi yang telah ditulis sebelumnya dan siap pakai, yang menyediakan fungsionalitas spesifik untuk berbagai tugas. Python memiliki ekosistem *library* ilmiah yang sangat kaya dan matang:

- **NumPy (Numerical Python):** Merupakan fondasi bagi hampir semua komputasi numerik dan saintifik dalam Python.³⁶ NumPy menyediakan objek array N-dimensi (ndarray) yang sangat efisien untuk menyimpan dan memanipulasi data numerik, beserta serangkaian fungsi tingkat tinggi untuk melakukan operasi matematika pada array tersebut (misalnya, operasi vektor dan matriks, aljabar linear, transformasi Fourier). Dalam konteks Astronomi, di mana perhitungan seringkali melibatkan data numerik dalam jumlah besar (misalnya, koordinat, waktu, parameter orbit), NumPy menjadi sangat esensial. Kemampuannya dalam menangani dataset besar dan melakukan komputasi numerik secara efisien sangat dihargai.⁴⁰
- **SciPy (Scientific Python):** Dibangun di atas NumPy, SciPy menyediakan koleksi algoritma dan fungsi matematika, saintifik, dan teknik yang lebih luas dan lebih canggih.³⁶ Modul-modul dalam SciPy mencakup fungsionalitas untuk optimasi, integrasi numerik, interpolasi, pengolahan sinyal, statistik, aljabar linear lanjutan, dan banyak lagi. Fungsi-fungsi ini sangat berguna untuk analisis data astronomi yang lebih mendalam, pemodelan fenomena fisis, atau implementasi algoritma perhitungan yang kompleks.
- **Pandas:** Sebuah *library* yang sangat populer dan *powerful* untuk analisis dan manipulasi data terstruktur, khususnya data tabular.³⁹ Pandas memperkenalkan dua struktur data utama, yaitu Series (satu dimensi) dan DataFrame (dua dimensi, mirip tabel dalam database atau spreadsheet). DataFrame sangat ideal untuk mengelola tabel-tabel data astronomi, seperti katalog bintang, data hasil observasi hilal dari berbagai lokasi dan waktu, atau output dari perhitungan efemeris. Pandas menyediakan alat yang sangat efisien untuk memuat data dari berbagai format, membersihkan data (menangani nilai yang hilang, duplikasi, dll.), melakukan pemfilteran, penggabungan, pengelompokan, dan agregasi data. Sebagai contoh,

Pandas dapat digunakan untuk memfilter katalog bintang berdasarkan magnitudo atau kriteria lainnya.⁴¹

- **Matplotlib & Seaborn:** Matplotlib adalah *library* standar de facto di Python untuk membuat berbagai jenis visualisasi data, mulai dari grafik garis sederhana, *scatter plot*, histogram, hingga plot 3D dan peta kontur yang kompleks.³⁶ Ia memberikan kontrol penuh atas setiap aspek dari sebuah plot. Seaborn adalah *library* lain yang dibangun di atas Matplotlib dan menyediakan antarmuka tingkat tinggi untuk membuat grafik statistik yang lebih menarik secara visual dan informatif dengan lebih sedikit kode. Kedua *library* ini sangat krusial untuk memvisualisasikan hasil perhitungan Astronomi, seperti menggambarkan posisi hilal relatif terhadap Matahari, membuat peta visibilitas hilal, memplot kurva cahaya objek astronomi, atau menampilkan data deret waktu lainnya. Kemampuan untuk menyesuaikan setiap detail plot sangat penting untuk menghasilkan gambar berkualitas publikasi.⁴⁴
- **Astropy:** Sebuah *library* inti yang dikembangkan secara khusus oleh dan untuk komunitas astronomi global.³⁹ Astropy bertujuan untuk menyediakan paket fungsionalitas inti yang umum dibutuhkan dalam riset dan aplikasi astronomi. Beberapa modul utamanya yang sangat relevan untuk Astronomi meliputi ²⁹:
 - `astropy.units`: Untuk bekerja dengan kuantitas fisik yang memiliki satuan (misalnya, derajat, jam, meter, detik busur) dan melakukan konversi antar satuan secara aman dan akurat.
 - `astropy.constants`: Menyediakan nilai konstanta fisika dan astronomi yang umum digunakan.
 - `astropy.coordinates`: Untuk merepresentasikan koordinat langit dalam berbagai sistem (misalnya, Ekuatorial (RA/Dec), Horizontal (Alt/Az), Ekliptika, Galaktik) dan melakukan transformasi antar sistem tersebut. Ini sangat fundamental untuk perhitungan arah kiblat, posisi benda langit di ufuk, dll.
 - `astropy.time`: Untuk merepresentasikan waktu dan tanggal dalam berbagai skala waktu astronomi (misalnya, UTC, UT1, TAI, TT) dan format (misalnya, Julian Date, MJD, ISO), serta melakukan konversi di antaranya. Ini esensial untuk semua perhitungan yang bergantung pada waktu, seperti waktu salat dan kalender.
 - `astropy.io`: Untuk membaca dan menulis data dalam format file standar astronomi seperti FITS (Flexible Image Transport System) dan VO (Virtual Observatory) Tables.
 - Beberapa penelitian di Indonesia telah menggunakan algoritma klasik seperti yang dipopulerkan oleh Jean Meeus ⁴⁷; Astropy dapat sangat membantu dalam

mengimplementasikan perhitungan serupa dengan manajemen unit, waktu, dan koordinat yang lebih robust dan terstandar.

- **Skyfield:** Sebuah *library* Python yang lebih modern dan berfokus pada astronomi posisi dengan presisi sangat tinggi.³⁹ Skyfield mampu menghitung posisi planet-planet, Bulan, Matahari, bintang-bintang, dan satelit Bumi dengan menggunakan data efemeris fundamental yang dirilis oleh Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA, seperti seri DE421 atau DE440. Akurasi posisional yang dihasilkan oleh Skyfield diklaim dapat mencapai hingga 0.0005 detik busur (setengah mili-detik busur) dibandingkan dengan sumber otoritatif seperti *Astronomical Almanac* USNO.⁵¹ Kemampuan ini menjadikannya alat yang sangat baik untuk perhitungan posisi Matahari dan Bulan yang akurat, yang merupakan dasar fundamental untuk penentuan waktu salat, arah kiblat, dan penyusunan kalender Hijriah. Skyfield juga menyediakan fungsi-fungsi almanak untuk menemukan waktu terbit dan terbenam Matahari dan Bulan, fase-fase Bulan, musim, dan peristiwa astronomis lainnya.⁵²
- **PyEphem:** Meskipun Skyfield menawarkan pendekatan yang lebih baru, PyEphem adalah *library* lain yang telah lama populer dan masih banyak digunakan untuk perhitungan efemeris (posisi benda langit) dan fenomena terkait.
- **Library Pendukung Lainnya:**
 - **Pillow / OpenCV:** Untuk tugas-tugas pemrosesan citra (gambar digital). Ini bisa relevan jika aplikasi Astronomi melibatkan analisis gambar hasil observasi teleskopik, misalnya, untuk mendeteksi dan menganalisis citra hilal.
 - **Dash / Streamlit / Flask / Django:** Ini adalah *framework-framework* Python yang digunakan untuk membangun aplikasi web interaktif atau *dashboard* berbasis web. Dengan *framework* ini, hasil perhitungan Astronomi dapat disajikan secara daring, dinamis, dan mudah diakses oleh pengguna melalui peramban web.

1.4.3 Sinergi Python dan Astronomi

Kombinasi dari kemudahan sintaks Python, fleksibilitasnya yang berjalan di berbagai platform, dukungan komunitas global yang kuat, dan yang terpenting, ekosistem *library* ilmiah yang sangat matang dan berdaya guna, menjadikan Python sebagai alat yang ideal dan sangat direkomendasikan bagi siapa saja—baik pemula maupun ahli—yang ingin mendalami, melakukan riset, atau mengembangkan aplikasi praktis dalam bidang Astronomi.

Kemudahan penggunaan Python dan ketersediaan *library-library* canggih yang bersifat *open-source* (sumber terbuka), seperti Astropy dan Skyfield, secara signifikan telah menurunkan hambatan teknis bagi para praktisi dan peneliti Astronomi yang mungkin

tidak memiliki latar belakang pendidikan formal dalam ilmu komputer atau pemrograman. Hal ini membuka pintu bagi lebih banyak individu untuk terlibat aktif dalam komputasi falakiah, mulai dari melakukan perhitungan dasar, menguji model-model yang ada, hingga berpotensi mengembangkan alat atau metode baru. Semangat keterbukaan dan kolaborasi yang melekat dalam ekosistem Python ini, dalam banyak hal, mencerminkan semangat penyebaran ilmu dan kolaborasi intelektual yang juga menjadi ciri khas tradisi keilmuan Islam pada masa kegemilangannya.

Lebih jauh lagi, kemampuan Python untuk mengintegrasikan algoritma-algoritma klasik yang telah teruji dengan teknik-teknik modern seperti *machine learning*³¹ menunjukkan bahwa Python bukan hanya sekadar alat untuk mengotomatisasi perhitungan-perhitungan lama. Ia juga berfungsi sebagai platform untuk inovasi metodologis dalam Astronomi. Ini adalah kelanjutan logis dari tradisi panjang dalam sejarah Astronomi, di mana para ilmuwan Muslim secara terus-menerus berupaya menyempurnakan metode dan meningkatkan akurasi perhitungan demi kemaslahatan umat dan kemajuan ilmu pengetahuan.

Beberapa contoh konkret aplikasi dan penelitian yang memanfaatkan Python dalam konteks Astronomi meliputi:

- Pengembangan paket Python seperti *islamic_times* yang menyediakan fungsi-fungsi terintegrasi untuk perhitungan waktu salat, konversi kalender Hijriah, penentuan posisi Matahari dan Bulan, estimasi visibilitas hilal (berdasarkan kriteria Yallop atau Odeh), dan kalkulasi arah kiblat.⁴⁶ Paket semacam ini menunjukkan bagaimana *library-library* dasar Python dapat dirangkai menjadi alat yang sangat spesifik dan berguna untuk kebutuhan Astronomi.
- Sebuah penelitian yang dilakukan di Indonesia berhasil mengembangkan sistem kalkulasi posisi Bulan menggunakan Python dan membandingkan hasilnya dengan perangkat lunak astronomi populer, Stellarium. Hasilnya menunjukkan akurasi yang baik dan menggarisbawahi kemudahan penggunaan Python untuk mengimplementasikan algoritma astronomi yang kompleks.⁴⁷
- Penerapan teknik *machine learning* menggunakan Python untuk memprediksi visibilitas hilal di Maroko³¹ dan untuk membantu penentuan awal bulan Ramadan secara lebih objektif.³²
- Ketersediaan repositori kode di GitHub, seperti *crescent-moon-visibility*, yang menyediakan skrip Python untuk membuat peta visibilitas hilal global berdasarkan kriteria Yallop dan Odeh.⁵⁹
- Paket Python lainnya seperti *pylslam*⁶⁰ dan contoh kode dari *iclib-python*⁶¹ juga menunjukkan upaya komunitas untuk menyediakan alat bantu komputasi

Astronomi berbasis Python.

Berikut adalah tabel yang merangkum beberapa *library* Python utama dan relevansinya untuk Astronomi:

Tabel 1.2: Ekosistem *Library* Python untuk Komputasi Astronomi dan Aplikasinya dalam Astronomi

Nama Library	Deskripsi Singkat Fungsi Utama	Contoh Aplikasi Spesifik dalam Konteks Astronomi
NumPy	Komputasi numerik dengan array N-dimensi, aljabar linear, Fourier transform. ³⁶	Dasar untuk semua perhitungan matematis dalam algoritma falak, manipulasi data koordinat dan waktu.
SciPy	Algoritma saintifik: optimasi, integrasi, interpolasi, statistik, pemrosesan sinyal. ³⁶	Analisis data observasi, pemodelan statistik fenomena astronomi, penyelesaian persamaan kompleks dalam model falak.
Pandas	Analisis dan manipulasi data tabular (DataFrame), pembersihan data, penggabungan, pemfilteran. ³⁹	Mengelola dan menganalisis data hasil observasi hilal, data katalog bintang, output efemeris dalam bentuk tabel.
Matplotlib	Pembuatan visualisasi data statis, animasi, dan interaktif 2D/3D (grafik, plot, histogram). ³⁶	Membuat grafik posisi hilal, peta kontur visibilitas hilal, plot data waktu salat sepanjang tahun, simulasi gerak benda langit.
Astropy	Paket inti astronomi: unit & konstanta, sistem koordinat & transformasi, waktu & skala waktu, I/O format astronomi. ³⁹	Konversi koordinat geografis ke langit untuk arah kiblat, perhitungan waktu presisi untuk waktu salat, manajemen data astronomi standar.

Skyfield	Perhitungan posisi benda langit (Matahari, Bulan, planet) dengan presisi tinggi menggunakan efemeris JPL, fungsi almanak (terbit/terbenam, fase Bulan). ⁵¹	Kalkulasi akurat posisi Matahari untuk waktu salat, posisi Bulan untuk kalender Hijriah dan visibilitas hilal, penentuan waktu peristiwa astronomis.
PyEphem	Perhitungan efemeris benda langit, konversi koordinat, peristiwa astronomis.	Alternatif untuk Skyfield untuk perhitungan posisi dan peristiwa astronomis dasar.
islamic_times	Paket spesifik untuk kalkulasi waktu salat, konversi Hijriah, posisi Matahari/Bulan, visibilitas hilal (Yallop/Odeh), arah kiblat. ⁴⁶	Aplikasi langsung untuk kebutuhan praktis ibadah dan kalender Islam.
Pillow/OpenCV	Pemrosesan citra digital (gambar).	Analisis citra hasil observasi hilal melalui teleskop, deteksi otomatis hilal.
Dash/Streamlit	<i>Framework</i> untuk membangun aplikasi web interaktif dan <i>dashboard</i> .	Menyajikan hasil perhitungan Astronomi (jadwal salat, peta hilal, kalender) secara daring dan interaktif kepada pengguna.

1.5 Struktur Buku dan Prasyarat Pembaca

Buku ini dirancang secara sistematis untuk memandu pembaca, mulai dari pemahaman konseptual dan historis hingga kemampuan praktis untuk membangun aplikasi kalkulasi astronomi Islam, khususnya terkait Kalender Hijriah dan prediksi visibilitas hilal, dengan menggunakan bahasa pemrograman Python.

1.5.1 Rincian Struktur Buku

Struktur buku ini akan terbagi menjadi beberapa bagian utama, yang masing-masing membangun pemahaman secara bertahap:

- **Bagian Dasar (Bab 1-3):**
 - **Bab 1 (bab ini):** Telah memperkenalkan signifikansi Astronomi dalam konteks Islam, menelusuri sejarah kegemilangannya, membahas transformasi yang dibawa oleh era komputasi, serta menyajikan justifikasi mengapa Python merupakan pilihan bahasa pemrograman yang tepat dan unggul untuk aplikasi Astronomi modern. Bab ini meletakkan fondasi historis, teoretis, dan motivasional bagi keseluruhan materi buku.
 - **Bab 2:** Akan fokus pada pengenalan dasar-dasar pemrograman Python yang relevan untuk komputasi saintifik. Materi akan mencakup tipe data, variabel, operator, struktur kontrol (kondisi dan perulangan), fungsi, dan konsep dasar pemrograman berorientasi objek (OOP) jika diperlukan.
 - **Bab 3:** Akan membahas konsep-konsep fundamental mengenai waktu dan sistem koordinat yang esensial dalam astronomi. Ini meliputi berbagai skala waktu (UTC, UT1, TT, TDT), konversi antar skala waktu, sistem koordinat langit (horisontal, ekuatorial, ekliptika), dan transformasi antar sistem koordinat tersebut.
- **Bagian Teknis (Bab 4-6):**
 - **Bab 4:** Akan mendalami algoritma inti untuk perhitungan posisi Matahari dengan akurasi tinggi, termasuk teori gerak Bumi, eksentrisitas orbit, persamaan waktu, dan faktor-faktor koreksi lainnya.
 - **Bab 5:** Akan membahas secara detail algoritma untuk perhitungan posisi Bulan, termasuk teori gerak Bulan yang kompleks (memperhitungkan berbagai perturbasi), fase Bulan, dan elongasi.
 - **Bab 6:** Akan fokus pada teori dan kriteria di balik konversi Kalender Hijriah, serta metode-metode dan kriteria-kriteria yang digunakan untuk menentukan visibilitas hilal (bulan sabit muda), termasuk pembahasan kriteria-kriteria historis dan modern (seperti Yallop, Odeh, dll.).
- **Bagian Aplikasi (Bab 7-8):**
 - **Bab 7:** Ini adalah bagian inti di mana pembaca akan belajar bagaimana mengintegrasikan semua pengetahuan dan algoritma dari bab-bab sebelumnya untuk membangun aplikasi Python yang berfungsi penuh untuk kalkulasi Kalender Hijriah.
 - **Bab 8:** Akan melanjutkan dengan pengembangan aplikasi untuk prediksi visibilitas hilal, lengkap dengan contoh studi kasus, analisis data observasi (jika relevan), dan visualisasi hasil.
- **Bagian Penutup (Bab 9):**
 - Akan merangkum poin-poin pembelajaran utama dari keseluruhan buku, meninjau kembali aplikasi yang telah dibangun, dan memberikan ide-ide serta arahan untuk pengembangan lebih lanjut atau area riset yang dapat dieksplorasi menggunakan Python dalam konteks Astronomi.

1.5.2 Prasyarat Pembaca

Buku ini ditujukan untuk khalayak yang luas, termasuk mahasiswa (dari berbagai jurusan seperti studi Islam, astronomi, fisika, ilmu komputer), akademisi, peneliti, praktisi falak (ahli hisab-rukyat), serta siapa saja yang memiliki ketertarikan pada perpaduan antara komputasi, astronomi, dan tradisi keilmuan Islam. Meskipun demikian, ada beberapa prasyarat yang akan sangat membantu pembaca dalam memahami dan mengikuti materi dengan lebih efektif:

- **Pemahaman Dasar Matematika:** Konsep-konsep aljabar dasar, trigonometri (fungsi sinus, kosinus, tangen), dan geometri (terutama geometri bola jika ingin mendalami aspek teoretisnya). Tidak diharapkan menjadi ahli matematika, tetapi pemahaman konseptual dasar akan sangat membantu dalam memahami logika di balik algoritma-algoritma yang dibahas.
- **Logika Pemrograman Dasar (Opsional tetapi Sangat Disarankan):** Jika pembaca belum pernah memiliki pengalaman memprogram sebelumnya, bab-bab awal mengenai dasar Python akan sangat membantu. Namun, jika pembaca sudah familiar dengan konsep-konsep dasar pemrograman seperti variabel, tipe data, operator, perulangan (*loops*), dan pernyataan kondisional (*if-else*), maka proses pembelajaran Python dan penerapannya dalam Astronomi akan berjalan lebih cepat dan lancar.
- **Minat yang Kuat pada Astronomi dan Astronomi:** Tentu saja, ketertarikan dan motivasi intrinsik terhadap topik ini akan menjadi pendorong terbesar bagi pembaca untuk belajar dan mengeksplorasi materi yang disajikan.

Buku ini akan berusaha menyajikan konsep-konsep pemrograman Python seaksesibel mungkin, dengan banyak contoh praktis yang relevan dengan Astronomi. Namun, kemauan untuk belajar secara mandiri, berlatih secara konsisten dengan kode-kode contoh, dan tidak ragu untuk mencari sumber-sumber tambahan akan sangat menentukan keberhasilan pembaca dalam menguasai materi.

1.5.3 Harapan dan Tujuan Buku

Harapan utama dari penulisan buku ini adalah agar ia dapat menjadi panduan yang komprehensif, mendalam, namun tetap praktis dan mudah diakses bagi para pembaca. Tujuannya adalah untuk membekali pembaca dengan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk dapat memanfaatkan kekuatan bahasa pemrograman Python dalam menjelajahi, memahami, dan mengaplikasikan kekayaan khazanah Astronomi. Baik untuk tujuan akademis (seperti penelitian atau pengajaran), pengembangan aplikasi praktis (untuk kebutuhan ibadah sehari-hari atau komunitas), maupun sekadar

untuk memperdalam apresiasi terhadap warisan intelektual Islam dan keindahan keteraturan alam semesta.

Dengan membekali pembaca dengan alat komputasi modern seperti Python, buku ini tidak hanya bertujuan untuk mentransfer pengetahuan tentang Astronomi secara pasif, tetapi juga untuk memberdayakan mereka agar dapat berkontribusi secara aktif dalam menghadapi tantangan-tantangan kontemporer. Misalnya, dalam diskusi mengenai penyatuan kalender Islam global, atau dalam pengembangan metode hisab-rukyat yang lebih canggih, objektif, dan dapat diterima secara lebih luas oleh berbagai pihak. Semoga buku ini dapat menginspirasi lahirnya inovasi-inovasi baru di persimpangan antara tradisi Astronomi yang agung dan teknologi komputasi yang terus berkembang.

Karya yang dikutip

1. ASTRONOMI, diakses Mei 10, 2025, https://kinerja.iainmadura.ac.id/dokumenbkd/20212U0046464642_115.pdf
2. INTEGRASI ASTRONOMI DAN ASTRONOMI DALAM MATERI HISAB AWAL BULAN DAN RUKYATUL HILAL DI MAN 2 BLITAR, diakses Mei 10, 2025, http://digilib.uinsa.ac.id/62604/2/Muhammad%20Hafizh%20Hilmi_CO6219022.pdf
3. jurnal.ar-raniry.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/substantia/article/download/7664/pdf>
4. Quranic Inspiration and the Rise of Astronomy and Mathematics in the Islamic Golden Age, diakses Mei 10, 2025, <https://thequran.love/2025/03/11/13244/>
5. ISLAM DAN KONTRIBUSINYA TERHADAP PERKEMBANGAN ILMU PENGETAHUAN - Jurnal Intelek Dan Cendekiawan Nusantara, diakses Mei 10, 2025, <https://jicnusanantara.com/index.php/jicn/article/download/1047/1181>
6. journals.iium.edu.my, diakses Mei 10, 2025, <https://journals.iium.edu.my/revival/index.php/revival/article/download/400/287/1480>
7. The Arab revival of the Islamic Golden Era, diakses Mei 10, 2025, <https://thenational.shorthandstories.com/the-arab-revival-of-the-islamic-golden-era/>
8. Islamic Astronomy of Abbasid Era (750-1258 AD), diakses Mei 10, 2025, <https://ejournal.uinsaizu.ac.id/index.php/jihm/article/download/5944/2752/17155>
9. Astronomy in the medieval Islamic world - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomy_in_the_medieval_Islamic_world
10. The Contribution of Muslims to Science During the Middle Abbasid Period (750-945), diakses Mei 10, 2025, <https://muslimheritage.com/middle-abbasid-period/>
11. Kontribusi Islam terhadap Perkembangan Ilmu Pengetahuan di Dunia Barat - Rumah Jurnal STAI DDI Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.staiddimakassar.ac.id/index.php/aujpsi/article/download/376/231/1211>
12. Al-Khwarizmi - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al->

Khwarizmi

13. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Khwarizmi#:~:text=Al%2DKhwarizmi%20revised%20Geography%2C%20the,the%20astrolabe%20and%20the%20sundial>.
14. al-Battani - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Battani>
15. Science and Innovation in the Islamic Golden Age and their Global Impact - Open Journal Systems, diakses Mei 10, 2025, <https://www.pdpjournals.org/index.php/jic/article/download/3/13>
16. Al-Battānī | Astronomy, Mathematics, Calculation - Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/biography/al-Battani>
17. Al-Biruni - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Biruni>
18. Who Was Biruni? - Biruni University, diakses Mei 10, 2025, <https://www.biruni.edu.tr/en/news/news/who-was-biruni>
19. Scientists Who Made A Difference: Nasir al-Din Tusi (1201-1274 ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.azer.com/aiweb/categories/magazine/42_folder/42_articles/42_mar_gha.html
20. Nasir al-Din al-Tusi - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Nasir_al-Din_al-Tusi
21. Astronomical Innovation in the Islamic World | Modeling the Cosmos | Articles and Essays | Finding Our Place in the Cosmos: From Galileo to Sagan and Beyond | Digital Collections | Library of Congress, diakses Mei 10, 2025, <https://www.loc.gov/collections/finding-our-place-in-the-cosmos-with-carl-sagan/articles-and-essays/modeling-the-cosmos/astronomical-innovation-in-the-islamic-world>
22. ISLAMIC GOLDEN AGE AND BEYOND - Brill, diakses Mei 10, 2025, <https://brill.com/display/book/9789463008938/BP000026.pdf>
23. (PDF) Observatories - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/378401513_Observatories
24. The Science Education and History of Ulugh Beg: Astronomer and Mathematician from Samarkand, Uzbekistan - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/391473454_The_Science_Education_and_History_of_Ulugh_Beg_Astronomer_and_Mathematician_from_Samarkand_Uzbekistan
25. Ulugh Beg Observatory - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Ulugh_Beg_Observatory
26. Rub' - Brill - Reference Works, diakses Mei 10, 2025, <https://referenceworks.brill.com/display/entries/EIEO/SIM-6317.xml>
27. Astrolabe - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Astrolabe>
28. (PDF) Tracing the History of Astrolabe Inventions Across Civilisations - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,

- <https://www.researchgate.net/publication/301623673> Tracing the History of Astral Inventions Across Civilisations
29. Islamic astronomy | Islamic World Class Notes | Fiveable, diakses Mei 10, 2025, <https://library.fiveable.me/the-islamic-world/unit-7/islamic-astronomy/study-guide/50wmqnFGDDnAEozX>
 30. Asrini Studi Komparatif Hisab Kontemporer Ephemeris Dan Algoritma - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/hisabuna/article/download/18650/pdf/>
 31. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634?>
 32. Predicting new crescent moon visibility applying machine learning ..., diakses Mei 10, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10126129/>
 33. arxiv.org, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634>
 34. astronomycenter.net, diakses Mei 10, 2025, https://astronomycenter.net/pdf/ozlem_2014.pdf
 35. THE CONTRIBUTION OF DIGITALIZATION IN THE DEVELOPMENT OF ASTRONOMY IN INDONESIA, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/11191/4313>
 36. [1807.04806] Use of Python programming language in astronomy and science - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/1807.04806>
 37. (PDF) Python for Scientific Computing - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/3422935_Python_for_Scientific_Computing
 38. Python - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/python>
 39. (PDF) Astropy: A Community Python Package for Astronomy, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/251566730_Astropy_A_Community_Python_Package_for_Astronomy
 40. Python For Data Analytics: A Systematic Literature Review Of Tools, Techniques, And Applications - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385805476_Python_For_Data_Analytics_A_Systematic_Literature_Review_Of_Tools_Techniques_And_Applications
 41. Expanding Horizons: Applications of Numpy and Pandas in Bioinformatics, Astronomy, and Social Networks | CodeSignal Learn, diakses Mei 10, 2025, <https://codesignal.com/learn/courses/deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data/lessons/expanding-horizons-applications-of-numpy-and-pandas-in-bioinformatics-astronomy-and-social-networks?identifier=2773%2Cusing-sorted-sets-for-leaderboards&courseSlug=deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data&unitSlug=using-sorted-sets-for-leaderboards&urlSlug=journey-into-data-science-with-python>
 42. Python for Astronomical Data Analysis: Uncover Cosmos, diakses Mei 10, 2025, <https://astrogazing.in/introduction-to-python-for-astronomical-data-analysis-unveiling-the-cosmos-with-code/>

43. Examples of Plotting with Matplotlib — astroML 0.4 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://www.astroml.org/book_figures/appendix/fig_plotting_examples.html
44. Foundations of Astronomical Data Science: Visualization, diakses Mei 10, 2025, <https://datacarpentry.github.io/astronomy-python/08-plot.html>
45. Astropy: A Community Python Package for Astronomy - Inspire HEP, diakses Mei 10, 2025, <https://inspirehep.net/literature/1244242>
46. islamic-times · PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/islamic-times/2.0.0/>
47. DEVELOPMENT OF A PYTHON-BASED POSITION CALCULATION ..., diakses Mei 10, 2025, <https://online-journal.unja.ac.id/EDP/article/view/29053>
48. Astropy and SunPy - A Quick Primer — DKIST 1.0.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://docs.dkist.nso.edu/projects/python-tools/en/v1.0.1/tutorial/1_astropy_and_sunpy.html
49. Using Astropy Quantities and Units for astrophysical calculations, diakses Mei 10, 2025, <https://learn.astropy.org/tutorials/quantities.html>
50. Time and Dates (astropy.time), diakses Mei 10, 2025, <https://docs.astropy.org/en/stable/time/index.html>
51. Skyfield — documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/>
52. Almanac Computation — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/almanac.html>
53. API Reference — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/api.html>
54. Examples — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/examples.html>
55. Earth to Jupiter distance with Skyfield - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/34873924/earth-to-jupiter-distance-with-skyfield>
56. islamic-times · PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/islamic-times/1.5.0/>
57. islamic-times · PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/islamic-times/>
58. islamic-times · PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/islamic-times/1.4.2/>
59. crescent-moon-visibility - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/crescent-moon-visibility>
60. pylslam, a Python library to calculate prayer times, hijri date, qiblah direction and more, diakses Mei 10, 2025, <http://abougouffa.github.io/pylslam/>
61. iclib-python/example-qibla.py at master - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/fikr4n/iclib-python/blob/master/example-qibla.py>

BAB II

DASAR-DASAR PYTHON UNTUK KOMPUTASI ASTRONOMI

Komputasi astronomi modern sangat bergantung pada perangkat lunak yang efisien dan serbaguna untuk analisis data, simulasi, dan visualisasi. Python, dengan ekosistem pustaka ilmiahnya yang kaya, telah muncul sebagai salah satu bahasa pemrograman dominan dalam komunitas astronomi. Bab ini akan membahas dasar-dasar penggunaan Python untuk komputasi astronomi, dimulai dari instalasi dan pengaturan lingkungan pengembangan, pengenalan struktur data fundamental dan kontrol alur, hingga penggunaan pustaka inti seperti NumPy untuk operasi numerik, Pandas untuk manipulasi data tabular, serta Matplotlib dan Seaborn untuk visualisasi data. Pemahaman yang kuat terhadap konsep-konsep ini akan menjadi landasan penting bagi para astronom dan peneliti untuk memanfaatkan kekuatan Python dalam penelitian mereka.

2.1 Instalasi Python dan Lingkungan Pengembangan

Sebelum memulai komputasi astronomi dengan Python, langkah pertama yang krusial adalah melakukan instalasi Python dan menyiapkan lingkungan pengembangan yang sesuai. Terdapat beberapa cara untuk menginstal Python, dan pemilihan metode seringkali bergantung pada kebutuhan spesifik pengguna, terutama jika fokusnya adalah pada komputasi ilmiah dan analisis data.

2.1.1 Opsi Instalasi Python

Terdapat dua opsi utama untuk menginstal Python: menggunakan distribusi Python standar dari python.org atau menggunakan distribusi yang dikhususkan untuk komputasi ilmiah seperti Anaconda.

- **Python Standar (python.org):**

Ini adalah cara paling dasar untuk mendapatkan Python. Pengguna dapat mengunduh installer dari situs web resmi Python (<https://www.python.org/downloads/>).³ Saat instalasi, terutama di Windows, sangat penting untuk mencentang opsi "Add Python to PATH" agar Python dapat diakses melalui command line.³ Setelah instalasi selesai, pengguna dapat memverifikasinya dengan membuka terminal atau command prompt dan mengetikkan `python --version` atau `python3 --version`.³ Metode ini memberikan instalasi Python inti yang bersih, dan pengguna dapat menginstal paket tambahan

sesuai kebutuhan menggunakan manajer paket pip.

- **Distribusi Anaconda:**

Anaconda adalah platform ilmu data sumber terbuka yang sangat populer. Distribusi Anaconda menyertakan Python, manajer paket Conda, dan ratusan paket ilmiah populer yang sudah terinstal sebelumnya, seperti NumPy, Pandas, Matplotlib, SciPy, dan Jupyter Notebook.⁴ Ini sangat memudahkan bagi mereka yang terlibat dalam analisis data dan komputasi ilmiah karena banyak alat yang dibutuhkan sudah tersedia "out-of-the-box". Miniconda adalah versi Anaconda yang lebih ringan, hanya menyertakan Python, Conda, dan beberapa paket dasar, memungkinkan pengguna untuk menginstal hanya paket yang mereka butuhkan.⁴ Manajer paket Conda tidak hanya mengelola paket Python tetapi juga dapat mengelola pustaka dari bahasa lain dan perangkat lunak. Keunggulan utama Conda adalah kemampuannya dalam mengelola lingkungan virtual secara efisien.⁴

- **Kapan Menggunakan Anaconda vs. Python Standar:**

Untuk komputasi astronomi dan analisis data secara umum, penggunaan Anaconda sangat direkomendasikan, terutama bagi pemula atau mereka yang membutuhkan banyak paket ilmiah.⁵ Anaconda menyederhanakan manajemen paket dan dependensi yang kompleks, yang seringkali menjadi tantangan jika menginstal semuanya secara manual dengan Python standar. Namun, jika pengguna membutuhkan kontrol penuh atas paket yang diinstal, atau hanya memerlukan instalasi Python yang ringan untuk skrip sederhana, Python standar dari python.org bisa menjadi pilihan yang lebih baik.

2.1.2 Lingkungan Virtual

Lingkungan virtual adalah komponen penting dalam pengembangan Python yang baik, terutama ketika mengerjakan beberapa proyek dengan dependensi yang berbeda. Lingkungan virtual memungkinkan isolasi paket dan versi Python untuk setiap proyek, sehingga mencegah konflik antar paket dan memastikan reproduktifitas.⁸

- **Pentingnya Isolasi Dependensi Proyek:**

Setiap proyek astronomi mungkin memerlukan versi paket tertentu (misalnya, versi Astropy atau NumPy yang berbeda). Tanpa lingkungan virtual, semua paket akan diinstal secara global, yang dapat menyebabkan satu proyek merusak proyek lain jika ada pembaruan paket yang tidak kompatibel. Lingkungan virtual menciptakan direktori terisolasi yang berisi instalasi Python dan paket-paket spesifik untuk proyek tersebut.⁸

- **Menggunakan Lingkungan Conda:**

Conda menyediakan cara yang sangat mudah untuk membuat dan mengelola

lingkungan virtual.

- **Membuat Lingkungan Baru:** Untuk membuat lingkungan baru, gunakan perintah berikut di terminal atau Anaconda Prompt:

Bash

```
conda create --name nama_lingkungan python=3.9
```

Perintah ini akan membuat lingkungan baru bernama nama_lingkungan dengan Python versi 3.9.⁸ Anda dapat mengganti nama_lingkungan dan versi Python sesuai kebutuhan.

- **Mengaktifkan Lingkungan:** Sebelum dapat menggunakan lingkungan, lingkungan tersebut harus diaktifkan:

Bash

```
conda activate nama_lingkungan
```

Setelah diaktifkan, prompt terminal biasanya akan menampilkan nama lingkungan yang aktif.⁸

- **Menonaktifkan Lingkungan:** Untuk kembali ke lingkungan dasar atau lingkungan sebelumnya:

Bash

```
conda deactivate8
```

- **Instalasi Paket dalam Lingkungan Conda:** Setelah lingkungan diaktifkan, paket dapat diinstal khusus untuk lingkungan tersebut menggunakan conda install:

Bash

```
conda install numpy pandas matplotlib
```

Perintah ini akan menginstal paket NumPy, Pandas, dan Matplotlib ke dalam lingkungan yang sedang aktif.⁴ Conda akan menangani resolusi dependensi untuk memastikan paket yang kompatibel diinstal.

2.1.3 Integrated Development Environment (IDE)

IDE menyediakan antarmuka yang komprehensif untuk menulis, menguji, dan men-debug kode Python. Beberapa IDE populer untuk pengembangan Python, termasuk

untuk komputasi ilmiah, adalah Visual Studio Code (VS Code), PyCharm, dan Spyder.

- Visual Studio Code (VS Code):

VS Code adalah editor kode sumber yang ringan namun kuat yang dikembangkan oleh Microsoft. VS Code telah mendapatkan popularitas besar di kalangan pengembang Python karena fleksibilitas dan ekosistem ekstensinya yang kaya.⁶

- **Keunggulan:**

- **Ekstensi Python:** Ekstensi Python resmi dari Microsoft menyediakan dukungan luar biasa untuk pengembangan Python, termasuk linting (analisis kode statis untuk menemukan kesalahan), pemformatan kode, IntelliSense (pelengkapan kode cerdas), dan navigasi kode.⁶

- **Debugger:** VS Code memiliki debugger terintegrasi yang kuat yang memungkinkan pengguna untuk mengatur *breakpoint*, melangkah melalui kode, memeriksa variabel, dan menganalisis tumpukan panggilan (*call stack*).⁶

- **Terminal Terintegrasi:** Pengguna dapat membuka satu atau lebih terminal langsung di dalam VS Code, memudahkan eksekusi skrip Python, perintah Git, dan tugas baris perintah lainnya tanpa meninggalkan editor.⁶

- **IntelliSense:** Fitur pelengkapan kode cerdas yang membantu mempercepat penulisan kode dan mengurangi kesalahan ketik dengan menyarankan penyelesaian berdasarkan konteks kode.⁶

- **Instalasi dan Konfigurasi Ekstensi Python:** Setelah menginstal VS Code, ekstensi Python dapat diinstal dari tab "Extensions" di VS Code. Cari "Python" (diterbitkan oleh Microsoft) dan klik "Install".⁶

- **Memilih Interpreter Python:** VS Code memungkinkan pengguna untuk dengan mudah memilih interpreter Python yang akan digunakan untuk proyek. Ini penting ketika bekerja dengan lingkungan virtual. Untuk memilih interpreter:

1. Buka *Command Palette* (Ctrl+Shift+P atau Cmd+Shift+P).
2. Ketik "Python: Select Interpreter".
3. Pilih interpreter yang diinginkan dari daftar yang muncul. VS Code akan secara otomatis mendeteksi interpreter Python yang tersedia, termasuk yang ada di dalam lingkungan Conda.⁶

- PyCharm (Singkat):

PyCharm, yang dikembangkan oleh JetBrains, adalah IDE Python lain yang sangat populer dan kaya fitur, terutama untuk pengembangan profesional dan proyek besar. PyCharm menawarkan analisis kode yang mendalam, alat debugging dan pengujian yang canggih, serta integrasi dengan berbagai alat pengembangan.¹² Edisi Komunitasnya gratis dan sumber terbuka, sementara Edisi Profesional

menawarkan fitur tambahan untuk pengembangan web dan ilmiah, termasuk dukungan untuk pustaka seperti NumPy dan Matplotlib, serta integrasi Jupyter Notebook.¹²

- **Spyder (Singkat):**

Spyder adalah IDE Python sumber terbuka yang dirancang khusus untuk komputasi ilmiah, rekayasa, dan analisis data.¹⁵ Spyder seringkali dibundel dengan distribusi Anaconda.¹⁷ Fitur utamanya meliputi editor multi-bahasa dengan analisis kode, konsol IPython interaktif, penjelajah variabel, dan alat debugging serta profiling.¹⁵ Antarmukanya mirip dengan MATLAB, yang mungkin familiar bagi beberapa peneliti.

Pemilihan IDE seringkali bergantung pada preferensi pribadi dan kebutuhan proyek. VS Code menawarkan keseimbangan yang baik antara keringanan, kekuatan, dan kustomisasi, menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk berbagai tugas komputasi astronomi.

2.2 Pengenalan Struktur Data Dasar (List, Tuple, Dictionary) dan Kontrol Alur

Setelah lingkungan Python siap, langkah selanjutnya adalah memahami blok bangunan dasar dari program Python: tipe data, struktur data, dan kontrol alur. Penguasaan konsep-konsep ini sangat penting untuk menulis skrip analisis data astronomi yang efektif.

2.2.1 Tipe Data Dasar Python

Python memiliki beberapa tipe data bawaan yang fundamental:

- **Angka:**
 - **Integer (int):** Digunakan untuk merepresentasikan bilangan bulat, baik positif maupun negatif, tanpa bagian desimal. Contoh: 10, -3, 0.¹⁸
 - **Float (float):** Digunakan untuk merepresentasikan bilangan real (bilangan dengan titik desimal). Contoh: 3.14, -0.001, 2.0.¹⁸
 - **Complex (complex):** Digunakan untuk merepresentasikan bilangan kompleks, yang memiliki bagian real dan imajiner. Contoh: $3 + 4j$, $1 - 2j$.¹⁸ Meskipun tidak selalu digunakan secara langsung dalam semua aspek astronomi, pemahaman akan tipe ini berguna untuk beberapa domain fisika dan teknik tertentu.
- **String (str):** Digunakan untuk merepresentasikan urutan karakter teks. String di Python bersifat *immutable*, artinya setelah dibuat, nilainya tidak dapat diubah.

String dapat didefinisikan menggunakan tanda kutip tunggal ('...'), ganda ("..."), atau tiga ('''...' atau '"""..."""' untuk string multi-baris).¹⁹ Contoh: 'Sirius', "Redshift z=0.5".

- **Boolean (bool):** Tipe data logis yang hanya dapat memiliki dua nilai: True atau False. Sangat penting untuk operasi kondisional dan kontrol alur.¹⁹

2.2.2 Struktur Data Dasar

Python menyediakan beberapa struktur data bawaan yang sangat berguna untuk mengorganisir dan memanipulasi koleksi data. Tiga yang paling umum digunakan adalah List, Tuple, dan Dictionary.

- **List:**
 - **Definisi:** List adalah koleksi item yang terurut (*ordered*) dan dapat diubah (*mutable*). List dapat berisi item dengan tipe data yang berbeda dan memungkinkan adanya duplikasi item.¹⁹
 - **Sintaks Pembuatan:** List dibuat dengan menempatkan item di dalam tanda kurung siku `[]`, dipisahkan oleh koma. Contoh: `nama_bintang = 'Sirius', fluks = [10.2, 15.5, 8.1]`.
 - **Operasi Dasar:**
 - Akses item: `nama_bintang` (mengembalikan 'Sirius').
 - Slicing: `fluks[0:2]` (mengembalikan `[10.2, 15.5]`).
 - Penambahan item: `nama_bintang.append('Vega')`, `nama_bintang.insert(1, 'Canopus')`.
 - Penghapusan item: `nama_bintang.remove('Betelgeuse')`, `del nama_bintang, item_pop = nama_bintang.pop()`.
 - Panjang list: `len(nama_bintang)`.
 - Pengurutan: `fluks.sort()` (mengurutkan *in-place*), `sorted_fluks = sorted(fluks)` (mengembalikan list baru yang terurut).
 - **Contoh Penggunaan Astronomi:** Menyimpan daftar nama objek, daftar magnitudo yang terukur, daftar panjang gelombang dalam sebuah spektrum.
- **Tuple:**
 - **Definisi:** Tuple adalah koleksi item yang terurut (*ordered*) tetapi tidak dapat diubah (*immutable*) setelah dibuat. Seperti list, tuple dapat berisi item dengan tipe data yang berbeda dan memungkinkan duplikasi.¹⁹
 - **Sintaks Pembuatan:** Tuple dibuat dengan menempatkan item di dalam tanda kurung biasa `()`, dipisahkan oleh koma. Tanda kurung bersifat opsional dalam banyak kasus, tetapi disarankan untuk kejelasan. Contoh: `koordinat_ra_dec = (14.5, -30.2)`, `info_bintang = ('Sirius', -1.46, 'A1V')`. Untuk tuple dengan satu

elemen, diperlukan koma di akhir: `single_tuple = (42,)`.

- **Penggunaan:** Karena sifatnya yang *immutable*, tuple sering digunakan untuk merepresentasikan koleksi data yang seharusnya tidak berubah, seperti koordinat, parameter konfigurasi, atau sebagai kunci dalam dictionary (karena kunci dictionary harus *immutable*).
- **Contoh Penggunaan Astronomi:** Menyimpan pasangan koordinat (RA, Dec), parameter model yang tetap, konstanta fisika. Sifat *immutable* tuple sangat berharga dalam komputasi ilmiah karena menjamin integritas data untuk parameter atau konfigurasi yang seharusnya tidak berubah selama eksekusi program. Jika suatu set data, seperti koordinat referensi sebuah teleskop atau parameter kalibrasi instrumen, didefinisikan sebagai tuple, ini mencegah modifikasi yang tidak disengaja yang dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis data yang lebih lanjut. List, sebaliknya, lebih cocok untuk data yang secara inheren perlu dimodifikasi, seperti daftar objek yang terdeteksi dalam survei yang terus bertambah.
- **Dictionary:**
 - **Definisi:** Dictionary adalah koleksi pasangan *key-value* yang tidak terurut (*unordered* sebelum Python 3.7, namun terurut berdasarkan urutan penyisipan di Python 3.7+) dan dapat diubah (*mutable*). Setiap *key* dalam dictionary harus unik dan *immutable* (misalnya, string, angka, atau tuple).¹⁹
 - **Sintaks Pembuatan:** Dictionary dibuat dengan menempatkan pasangan *key:value* di dalam tanda kurung kurawal {}, dipisahkan oleh koma. Contoh: `bintang_info = {'nama': 'Sirius', 'magnitudo_v': -1.46, 'tipe_spektral': 'A1V'}`.
 - **Operasi Dasar:**
 - Akses nilai: `bintang_info['magnitudo_v']` (mengembalikan -1.46).
 - Penambahan/Perubahan item: `bintang_info['jarak_pc'] = 2.64`, `bintang_info['magnitudo_v'] = -1.45`.
 - Penghapusan item: `del bintang_info['tipe_spektral']`, `jarak = bintang_info.pop('jarak_pc')`.
 - Mendapatkan semua keys: `bintang_info.keys()`.
 - Mendapatkan semua values: `bintang_info.values()`.
 - Mendapatkan semua pasangan key-value: `bintang_info.items()`.
 - **Contoh Penggunaan Astronomi:** Menyimpan metadata dari file FITS (di mana header FITS seringkali berupa pasangan keyword dan value), informasi detail tentang satu objek astronomi, parameter konfigurasi untuk sebuah observasi. Struktur *key-value* dictionary memungkinkan representasi data objek astronomi yang sangat alami dan mudah diakses. Setiap atribut penting dari

sebuah objek, seperti nama, magnitudo dalam berbagai filter, tipe spektral, atau redshift, dapat disimpan sebagai *value* dengan *key* yang deskriptif. Ini jauh lebih intuitif dan kurang rentan terhadap kesalahan dibandingkan menggunakan list di mana urutan elemen harus selalu diingat. Fleksibilitas untuk menambah atau mengubah atribut (pasangan *key-value*) juga sangat berguna ketika data pengamatan berkembang atau perlu diperbarui dengan informasi baru.

2.2.3 Kontrol Alur

Kontrol alur menentukan urutan eksekusi pernyataan dalam program.

- **Pernyataan Kondisional (if, elif, else):**
Digunakan untuk mengeksekusi blok kode tertentu berdasarkan apakah suatu kondisi bernilai True atau False.²³
 - **Sintaks:**

```
Python
if kondisi1:
    # blok kode jika kondisi1 True
elif kondisi2:
    # blok kode jika kondisi1 False dan kondisi2 True
else:
    # blok kode jika semua kondisi sebelumnya False
```
 - **Contoh Penggunaan Astronomi:** Memutuskan jalur pemrosesan data berdasarkan kualitas data (misalnya, if seeing_value < 1.0:), mengklasifikasikan objek berdasarkan parameter yang diukur (misalnya, if warna_b_v > 0.5 and warna_b_v < 1.0: tipe_bintang = "G").
- **Perulangan (for, while loops):**
 - **for loop:** Digunakan untuk melakukan iterasi melalui item-item dalam sebuah sekuens (seperti list, tuple, string) atau objek *iterable* lainnya.²³
 - **Sintaks:** for item in sekuens: # blok kode yang akan diulang
 - **Dengan range():** Fungsi range(start, stop, step) menghasilkan urutan angka, sering digunakan untuk iterasi sebanyak jumlah tertentu. for i in range(jumlah_bintang): # proses bintang ke-i.
 - **Contoh Penggunaan Astronomi:** Memproses setiap file FITS dalam sebuah direktori, menghitung statistik untuk setiap bintang dalam sebuah katalog, melakukan iterasi melalui setiap piksel dalam sebuah citra astronomi.
 - **while loop:** Digunakan untuk mengeksekusi blok kode secara berulang selama

suatu kondisi boolean tertentu bernilai True.²³

- **Sintaks:** while kondisi: # blok kode yang akan diulang
- **Contoh Penggunaan Astronomi:** Melakukan iterasi dalam algoritma *fitting* model hingga kriteria konvergensi terpenuhi (misalnya, while perubahan_chi_kuadrat > toleransi_konvergensi:), membaca data dari instrumen secara terus-menerus hingga ada sinyal untuk berhenti.
- **Pernyataan break dan continue:**
 - break: Menghentikan eksekusi loop saat ini dan keluar dari loop.²⁴
 - continue: Menghentikan iterasi saat ini dan melanjutkan ke iterasi berikutnya dari loop.²⁴
- **Klausula else pada Loop:** Blok else dapat ditambahkan setelah loop for atau while. Blok ini akan dieksekusi jika loop selesai secara normal (yaitu, tidak dihentikan oleh pernyataan break).²⁴

2.2.4 Dasar-dasar Fungsi (def, parameter, return)

Fungsi adalah blok kode yang terorganisir dan dapat digunakan kembali yang dirancang untuk melakukan tugas tertentu. Penggunaan fungsi meningkatkan modularitas, keterbacaan, dan kemampuan penggunaan kembali kode.²⁴

- **Definisi Fungsi (def):** Kata kunci def digunakan untuk mendefinisikan sebuah fungsi.
 - **Sintaks:**

```
Python
def nama_fungsi(parameter1, parameter2,...):
    """Docstring: penjelasan singkat tentang fungsi."""
    # blok kode fungsi
    return nilai_kembalian # opsional
```
- **Parameter:** Variabel yang tercantum di dalam tanda kurung pada definisi fungsi. Parameter menerima nilai (argumen) yang dilewatkan saat fungsi dipanggil. Fungsi dapat memiliki parameter dengan nilai default, misalnya def fungsi(param1, param2='default'):
- **return:** Pernyataan return keluar dari fungsi dan secara opsional mengembalikan nilai ke pemanggil. Jika tidak ada pernyataan return atau return tanpa nilai, fungsi akan mengembalikan None.
- **Docstrings:** String literal pertama setelah baris def adalah *docstring* fungsi. Ini digunakan untuk mendokumentasikan apa yang dilakukan fungsi, argumennya, dan apa yang dikembalikannya. *Docstring* sangat penting untuk membuat kode yang mudah dipahami dan dipelihara.

- **Contoh Penggunaan Astronomi:** Membuat fungsi untuk menghitung magnitudo dari fluks bintang, fungsi untuk mengkonversi koordinat dari satu sistem ke sistem lain (misalnya, ekuatorial ke galaktik), fungsi untuk memuat dan melakukan pra-pemrosesan data dari format file FITS tertentu. Dalam analisis astronomi, banyak proses yang kompleks atau berulang, seperti koreksi data mentah dari instrumen, *fitting* model ke data observasi, atau konversi antar unit fisis. Dengan membungkus langkah-langkah ini ke dalam fungsi-fungsi yang terdefinisi dengan baik, kode menjadi lebih terstruktur dan mudah dikelola. Sebagai contoh, sebuah fungsi `koreksi_flat_field(data_citra, flat_field_frame)` dapat dipanggil berulang kali untuk setiap citra yang perlu dikoreksi. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi duplikasi kode tetapi juga memudahkan pengujian, debugging, dan kolaborasi antar peneliti.

Berikut adalah tabel ringkasan struktur data dasar Python:

Tabel 2.1: Ringkasan Struktur Data Dasar Python dan Operasinya

Struktur Data	Deskripsi Singkat	Sifat Utama	Sintaks Pembuatan	Contoh Operasi Umum (Kode)	Contoh Penggunaan dalam Astronomi
List	Koleksi item terurut dan dapat diubah	Mutable, Ordered	<code>my_list = [1, 'a', 2.0]</code>	<code>my_list.append(3)</code> <code>my_list</code> <code>my_list = 'b'</code> <code>del my_list</code> <code>len(my_list)</code>	Daftar magnitudo, daftar nama objek, urutan data dalam spektrum.
Tuple	Koleksi item terurut dan tidak dapat diubah	Immutable, Ordered	<code>my_tuple = (1, 'a', 2.0)</code>	<code>my_tuple</code> <code>len(my_tuple)</code>	Koordinat (RA, Dec), parameter model tetap, konstanta.
Dictionary	Koleksi pasangan key-value tidak terurut	Mutable, Unordered (pre-3.7)/Ordered	<code>my_dict = {'k1': 1, 'k2': 'a'}</code>	<code>my_dict['k1']</code> <code>my_dict['k3'] = 2.0</code> <code>del</code>	Metadata FITS, informasi detail objek

	(terurut di Python 3.7+) dan dapat diubah	(3.7+)		my_dict['k2'] 'k1' in my_dict my_dict.keys() my_dict.values()	(nama, tipe, jarak), parameter konfigurasi.

Pemahaman yang baik tentang struktur data ini, dikombinasikan dengan kontrol alur dan fungsi, memungkinkan pengembangan skrip Python yang kuat dan fleksibel untuk berbagai tugas komputasi astronomi.

2.3 Menggunakan NumPy untuk Operasi Numerik Tingkat Lanjut

NumPy (Numerical Python) adalah pustaka fundamental untuk komputasi ilmiah di Python. Pustaka ini menyediakan objek array multidimensi yang kuat, berbagai fungsi turunan untuk bekerja dengan array tersebut, dan alat untuk mengintegrasikan kode C/C++ dan Fortran. Bagi komputasi astronomi, yang sering melibatkan manipulasi dataset numerik besar seperti citra dan katalog, NumPy adalah alat yang sangat esensial.²⁵

2.3.1 Pengenalan NumPy dan Objek ndarray

Inti dari NumPy adalah objek ndarray (n-dimensional array). Ini adalah wadah data generik untuk item dengan tipe dan ukuran yang sama. ndarray memungkinkan operasi matematika dan logika dilakukan pada seluruh blok data, bukan pada elemen individual satu per satu seperti pada list Python.

Keunggulan utama ndarray dibandingkan list Python untuk data numerik adalah:

- **Efisiensi Memori:** ndarray menggunakan memori yang jauh lebih sedikit daripada list Python untuk menyimpan data numerik karena elemen-elemennya disimpan secara berdekatan dalam memori dan memiliki tipe data yang homogen (semua elemen bertipe sama, misalnya, semua float64 atau semua int32).²⁵
- **Kecepatan Operasi:** Operasi pada ndarray dieksekusi jauh lebih cepat. Banyak operasi NumPy diimplementasikan dalam bahasa C dan dioptimalkan untuk kinerja. Operasi ini sering disebut sebagai operasi *vectorized*, yang menghindari *overhead* dari loop Python eksplisit.²⁵ Untuk dataset astronomi yang bisa berukuran gigabyte atau bahkan terabyte, peningkatan kecepatan ini sangat signifikan.

Banyak pustaka ilmiah Python lainnya, termasuk Pandas, SciPy, dan Astropy, dibangun di atas NumPy dan menggunakan ndarray sebagai struktur data dasar untuk pertukaran data numerik.²⁵ Hal ini menjadikan NumPy semacam "bahasa rakitan" untuk komputasi ilmiah di Python, menyediakan fondasi komputasi yang solid. Jika terjadi *bottleneck* kinerja dalam kode Python ilmiah, solusi yang umum adalah melakukan "vektorisasi" operasi, yaitu mengganti loop Python dengan operasi array NumPy yang setara.

2.3.2 Pembuatan Array NumPy

Array NumPy dapat dibuat dengan berbagai cara:

- **Dari List atau Tuple Python:** Menggunakan fungsi `np.array()`:

```
Python
import numpy as np
list_data =
array_from_list = np.array(list_data)
# array_from_list akan menjadi: array()

tuple_data = ((1, 2, 3), (4, 5, 6))
array_2d = np.array(tuple_data)
# array_2d akan menjadi:
# array([,
#      ])26
```

- **Menggunakan `np.arange(start, stop, step)`:** Membuat array dengan nilai-nilai yang berjarak sama dalam interval tertentu (mirip fungsi `range` bawaan Python, tetapi dapat menggunakan `step` berupa float).

```
Python
waktu_observasi = np.arange(0, 10, 0.5) # Array dari 0 hingga 9.5 dengan step 0.5
# waktu_observasi: array([0. , 0.5, 1. , ..., 9. , 9.5])
```

²⁶

- **Menggunakan `np.linspace(start, stop, num_elements)`:** Membuat array dengan jumlah elemen (`num_elements`) tertentu yang terdistribusi secara merata antara `start` dan `stop` (inklusif). Ini sangat berguna untuk membuat sumbu koordinat atau grid untuk plot atau model.

Python

```
sumbu_panjang_gelombang = np.linspace(4000, 7000, 100) # 100 titik antara 4000 dan 7000 Angstrom26
```

- **Menggunakan `np.zeros(shape)` dan `np.ones(shape)`:** Membuat array yang diisi dengan nilai nol atau satu, dengan bentuk (`shape`) yang ditentukan. `shape` adalah tuple, misalnya (`jumlah_baris`, `jumlah_kolom`).

Python

```
citra_kosong = np.zeros((512, 512)) # Array 2D 512x512 berisi nol  
flat_field = np.ones((1024, 1024), dtype=np.float32) # Array 2D berisi satu, tipe float3226
```

- **Menggunakan `np.random.rand(dim1, dim2,...)` atau `np.random.randn(dim1, dim2,...)`:** Membuat array dengan angka acak. `rand` menghasilkan angka acak dari distribusi uniform antara 0 dan 1, sedangkan `randn` menghasilkan angka acak dari distribusi normal standar (mean 0, std 1). Berguna untuk simulasi, inisialisasi bobot dalam model machine learning, atau menambahkan noise buatan.

Python

```
noise_citra = np.random.rand(100, 100) # Array 100x100 dengan nilai acak antara 0 dan 126
```

2.3.3 Atribut Array

Setiap ndarray memiliki beberapa atribut penting yang menyediakan informasi tentang array tersebut:

- **`array.shape`:** Sebuah tuple yang menunjukkan dimensi array. Misalnya, untuk citra astronomi 2D dengan 1024 baris dan 1024 kolom, `shape` akan menjadi (1024, 1024).²⁶
- **`array.dtype`:** Menjelaskan tipe data dari elemen-elemen dalam array, misalnya `int64`, `float64`, `bool`, `complex128`.²⁶ Penting untuk memastikan tipe data sesuai dengan jenis data yang disimpan dan operasi yang akan dilakukan.
- **`array.ndim`:** Jumlah dimensi (atau `axes`) dari array. Array 1D memiliki `ndim=1`, array 2D (matriks/citra) memiliki `ndim=2`, dan seterusnya.²⁶ Data cube spektroskopi bisa memiliki `ndim=3` (misalnya, `x`, `y`, panjang gelombang).
- **`array.size`:** Jumlah total elemen dalam array. Ini adalah hasil perkalian dari semua angka dalam tuple `shape`.²⁶

Contoh penggunaan dalam astronomi:

Python

```
# Misalkan 'data_citra' adalah ndarray dari file FITS
# print(f"Dimensi citra: {data_citra.shape}")
# print(f"Type data piksel: {data_citra.dtype}")
# print(f"Jumlah dimensi: {data_citra.ndim}")
# print(f"Total piksel: {data_citra.size}")
```

2.3.4 Operasi Array Dasar (Aritmatika Elemen-demi-Elemen)

Operasi aritmatika standar seperti penjumlahan (+), pengurangan (-), perkalian (*), pembagian (/), dan perpangkatan (**) pada array NumPy dilakukan secara elemen-demi-elemen.²⁶ Ini berarti operasi tersebut diterapkan pada setiap pasangan elemen yang bersesuaian dari array.

Python

```
array_a = np.array()
```

```
array_b = np.array()
```

```
penjumlahan = array_a + array_b # Hasil: array()
```

```
perkalian = array_a * array_b # Hasil: array()
```

```
pembagian = array_b / array_a # Hasil: array([4. , 2.5, 2. ])
```

```
pangkat = array_a ** 2 # Hasil: array()
```

```
# Operasi dengan skalar
```

```
array_c = array_a + 10 # Hasil: array()
```

Penting untuk dicatat bahwa perkalian elemen-demi-elemen (*) berbeda dengan perkalian matriks. Untuk perkalian matriks, gunakan fungsi `np.dot(array1, array2)` atau operator `@` (tersedia di Python 3.5 dan yang lebih baru).²⁶

Contoh penggunaan dalam astronomi:

- Kalibrasi citra: $\text{citra\_terkalibrasi} = (\text{citra\_mentah} - \text{bias\_frame}) / \text{flat\_field\_frame}$.
- Konversi fluks ke magnitudo: $m = -2.5 \cdot \log_{10}(\text{fluks}) + \text{zero\_point}$.

2.3.5 Universal Functions (ufuncs)

Universal Functions (ufuncs) adalah fungsi NumPy yang beroperasi pada ndarray secara elemen-demi-elemen, menghasilkan array baru sebagai outputnya. Ufuncs sangat efisien karena loop internalnya diimplementasikan dalam bahasa C.²⁵

Beberapa contoh ufuncs yang umum digunakan:

- **Fungsi Aritmatika:** np.add(), np.subtract(), np.multiply(), np.divide(), np.power().
- **Fungsi Trigonometri:** np.sin(), np.cos(), np.tan(), np.arcsin(), np.deg2rad(), np.rad2deg().²⁶
- **Fungsi Eksponensial dan Logaritmik:** np.exp(), np.log() (logaritma natural), np.log10() (logaritma basis 10), np.sqrt().²⁶
- **Fungsi Pembulatan:** np.round(), np.floor(), np.ceil().
- **Fungsi Perbandingan:** np.greater(), np.less(), np.equal(), menghasilkan array boolean.

Contoh penggunaan dalam astronomi:

- Menghitung fungsi trigonometri untuk kalkulasi posisi benda langit.
- Menerapkan transformasi logaritmik pada data fluks untuk visualisasi atau analisis.
- Menghitung akar kuadrat dari varians untuk mendapatkan standar deviasi.

2.3.6 Indexing dan Slicing

NumPy menawarkan mekanisme indexing dan slicing yang canggih untuk mengakses dan memodifikasi elemen atau sub-array dalam ndarray. Ini mirip dengan list Python tetapi diperluas untuk array multidimensi.²⁵

- **Indexing Dasar:** Mengakses elemen tunggal menggunakan indeks integer (dimulai dari 0). Untuk array multidimensi, indeks untuk setiap sumbu dipisahkan oleh koma.

Python

```
array_1d = np.array()  
# print(array_1d) # Output: 12
```

```
array_2d = np.array([,])  
# print(array_2d) # Output: 6 (baris ke-1, kolom ke-2)
```

- **Slicing:** Mengambil bagian dari array menggunakan notasi start:stop:step. Jika start atau stop dihilangkan, akan diasumsikan sebagai awal atau akhir array. Jika step dihilangkan, diasumsikan sebagai 1.

Python

```
# print(array_1d[1:3]) # Output: array()
# print(array_2d[0, 0:2]) # Output: array() (baris ke-0, kolom 0 hingga 1)
# print(array_2d[:, 1]) # Output: array() (semua baris, kolom ke-1)
```

- **Boolean Indexing:** Menggunakan array boolean dengan bentuk yang sama untuk memilih elemen. Elemen yang bersesuaian dengan nilai True dalam array boolean akan dipilih. Ini adalah cara yang sangat kuat untuk memfilter data.

Python

```
data_magnitudo = np.array([15.2, 18.5, 14.9, 20.1, 13.5])
filter_terang = data_magnitudo < 16.0
# filter_terang: array()
magnitudo_terang = data_magnitudo[filter_terang]
# magnitudo_terang: array([15.2, 14.9, 13.5])
```

.²⁶ Kemampuan *filtering* yang canggih ini sangat penting untuk menangani dataset astronomi modern yang besar dan kompleks, memungkinkan penemuan pola dan objek menarik dengan lebih efisien.

- **Fancy Indexing:** Menggunakan array integer atau list integer untuk mengindeks array lain. Ini memungkinkan pemilihan elemen dalam urutan tertentu atau pemilihan elemen yang tidak berurutan.

Python

```
indeks_pilihan = np.array()
# print(array_1d[indeks_pilihan]) # Output: array()
```

Contoh penggunaan dalam astronomi:

- Memilih sub-region dari citra FITS: `sub_citra = citra_lengkap[100:200, 300:400]`.
- Memfilter katalog bintang berdasarkan kriteria magnitudo: `katalog_terfilter = katalog[katalog['magnitudo'] < 18.0]`.
- Mengekstrak spektrum dari data cube pada posisi spasial tertentu: `spektrum_objek = data_cube[x_pos, y_pos, :]`.

Salah satu konsep kunci yang membuat kode NumPy sangat ekspresif dan performan adalah *broadcasting*. Tanpa *broadcasting*, operasi antara array dengan bentuk

berbeda (misalnya, menambahkan vektor ke setiap baris matriks) akan memerlukan pembuatan array sementara atau *loop* eksplisit, yang kurang efisien dan membuat kode lebih panjang. *Broadcasting* secara implisit "memperluas" array yang lebih kecil agar sesuai dengan array yang lebih besar tanpa menyalin data secara fisik, memungkinkan operasi elemen-demi-elemen yang cepat.²⁵ Hal ini secara langsung menyebabkan kode analisis data astronomi menjadi lebih ringkas, lebih mudah dibaca, dan lebih cepat dieksekusi.

2.3.7 Fungsi Matematika dan Statistik Dasar

NumPy menyediakan banyak fungsi bawaan untuk melakukan agregasi dan perhitungan statistik pada array:

- **np.sum(array, axis=None):** Menghitung jumlah semua elemen dalam array. Jika axis ditentukan (0 untuk kolom, 1 untuk baris dalam array 2D), penjumlahan dilakukan sepanjang sumbu tersebut.²⁶
- **np.mean(array, axis=None):** Menghitung rata-rata aritmatika elemen.²⁶
- **np.std(array, axis=None):** Menghitung standar deviasi elemen.²⁶
- **np.min(array, axis=None) dan np.max(array, axis=None):** Menemukan nilai minimum dan maksimum dalam array.²⁶
- **np.median(array, axis=None):** Menghitung nilai median elemen.²⁶
- **np.percentile(array, q, axis=None):** Menghitung persentil ke-q dari elemen.
- **np.argmin(array, axis=None) dan np.argmax(array, axis=None):** Mengembalikan indeks dari nilai minimum dan maksimum.

Contoh penggunaan dalam astronomi:

- Menghitung fluks rata-rata di suatu area pada citra: `rata_fluks_area = np.mean(sub_citra)`.
- Menghitung standar deviasi dari *background noise* dalam citra.
- Menemukan piksel paling terang dalam sebuah citra: `maks_piksel = np.max(citra)`, `posisi_maks = np.unravel_index(np.argmax(citra), citra.shape)`.

2.3.8 Contoh Aplikasi dalam Komputasi Astronomi

NumPy menjadi dasar untuk berbagai aplikasi dalam komputasi astronomi:

- **Manipulasi Data Citra:** Data piksel dari file FITS (seringkali dibaca menggunakan pustaka seperti Astropy yang berinteraksi dengan NumPy) disimpan sebagai ndarray. Operasi seperti koreksi bias (`citra - bias_frame`), *flat-fielding* (`citra / flat_frame`), pemotongan (*cropping*), dan rotasi citra dapat dilakukan secara

efisien.

- **Analisis Spektral:** Spektrum (fluks vs panjang gelombang) direpresentasikan sebagai array 1D. Operasi seperti normalisasi spektrum, pengukuran lebar ekivalen garis emisi/absorpsi, dan penghitungan *redshift* berdasarkan pergeseran garis spektral semuanya memanfaatkan operasi array NumPy.
- **Kalkulasi Posisi Sederhana:** Array NumPy dapat digunakan untuk menyimpan daftar koordinat (misalnya, RA dan Dec dalam derajat) dari banyak objek. Fungsi trigonometri NumPy kemudian dapat digunakan untuk melakukan transformasi koordinat sederhana atau menghitung jarak angular antar objek.¹
- **Simulasi Monte Carlo:** Modul `np.random` sangat berguna untuk menghasilkan data acak yang mengikuti distribusi tertentu. Ini digunakan dalam simulasi Monte Carlo untuk mengestimasi ketidakpastian dalam pengukuran, memodelkan populasi bintang, atau menguji signifikansi statistik dari suatu hasil.

Berikut adalah tabel ringkasan fungsi NumPy esensial:

Tabel 2.2: Fungsi NumPy Esensial untuk Komputasi Astronomi

Kategori Fungsi	Fungsi/Atribut NumPy	Deskripsi Singkat
Pembuatan Array	<code>np.array()</code> , <code>np.arange()</code> , <code>np.linspace()</code>	Membuat array dari list/tuple, urutan angka, atau interval dengan jarak sama.
	<code>np.zeros()</code> , <code>np.ones()</code> , <code>np.empty()</code>	Membuat array berisi nol, satu, atau tanpa inisialisasi.
	<code>np.random.rand()</code> , <code>np.random.randn()</code>	Membuat array dengan angka acak (uniform atau normal).
Atribut Array	<code>.shape</code> , <code>.dtype</code> , <code>.ndim</code> , <code>.size</code>	Mengembalikan dimensi, tipe data, jumlah dimensi, dan jumlah total elemen.
Operasi Aritmatika	<code>+</code> , <code>-</code> , <code>*</code> , <code>/</code> , <code>**</code> , <code>np.dot()</code> , <code>@</code>	Operasi elemen-demi-elemen dan perkalian matriks.

Ufuncs Trigonometri	<code>np.sin()</code> , <code>np.cos()</code> , <code>np.tan()</code> , <code>np.deg2rad()</code>	Fungsi trigonometri elemen-demi-elemen.
Ufuncs Log/Exp	<code>np.exp()</code> , <code>np.log()</code> , <code>np.log10()</code> , <code>np.sqrt()</code>	Fungsi eksponensial, logaritmik, dan akar kuadrat elemen-demi-elemen.
Fungsi Statistik	<code>np.sum()</code> , <code>np.mean()</code> , <code>np.std()</code> , <code>np.min()</code> , <code>np.max()</code> , <code>np.median()</code>	Agregasi statistik dasar (jumlah, rata-rata, standar deviasi, min/max, median).
Indexing/Slicing	<code>array[idx]</code> , <code>array[start:stop:step]</code> , <code>array[kondisi_boolean]</code>	Mengakses dan memodifikasi elemen atau sub-array.

Dengan kemampuannya yang luas, NumPy menjadi tulang punggung bagi banyak analisis data numerik dalam astronomi modern.

2.4 Memahami Pandas untuk Pengolahan Data Tabel

Pandas adalah pustaka Python *open-source* yang sangat populer dan kuat, menyediakan struktur data berperforma tinggi dan mudah digunakan serta alat analisis data yang dirancang khusus untuk bekerja dengan data tabular dan heterogen.³² Dalam astronomi, data seringkali datang dalam bentuk tabel, seperti katalog bintang, log observasi, atau hasil pengukuran dari banyak objek. Pandas sangat mempermudah proses pemuatan, pembersihan, transformasi, analisis, dan bahkan visualisasi dasar dari data semacam itu.²⁷

2.4.1 Pengenalan Pandas, Struktur Data Series dan DataFrame

Dua struktur data utama dalam Pandas adalah Series dan DataFrame:

- **Series:** Objek Series adalah array berlabel satu dimensi yang mampu menampung tipe data apa pun (integer, string, float, objek Python, dll.). Setiap elemen dalam Series memiliki label indeks. Jika tidak ditentukan secara eksplisit, Pandas akan membuat indeks integer default (mulai dari 0).³² Series dapat dianggap sebagai satu kolom dalam spreadsheet atau tabel SQL.

Python

```
import pandas as pd
magnitudo_bintang = pd.Series([ -1.46, 0.03, 0.12, 0.42], index=)
# print(magnitudo_bintang)
# Output:
# Sirius    -1.46
# Arcturus   0.03
# Vega       0.12
# Capella    0.42
# dtype: float64
```

- **DataFrame:** Objek DataFrame adalah struktur data berlabel dua dimensi dengan kolom-kolom yang berpotensi memiliki tipe data yang berbeda. DataFrame dapat dianggap seperti spreadsheet, tabel SQL, atau dictionary dari objek Series. Ia memiliki indeks baris dan indeks kolom.³² Ini adalah struktur data Pandas yang paling umum digunakan.

Python

```
data_katalog = {'nama_bintang':,
                 'magnitudo_v': [-1.46, -0.74, -0.27],
                 'jarak_ly': [8.6, 310, 4.37]}
katalog_df = pd.DataFrame(data_katalog)
# print(katalog_df)
# Output:
#   nama_bintang  magnitudo_v  jarak_ly
# 0    Sirius      -1.46      8.60
# 1   Canopus     -0.74     310.00
# 2  Rigil Kentaurus  -0.27      4.37
```

2.4.2 Pembuatan DataFrame

DataFrame Pandas dapat dibuat dari berbagai sumber:

- **Dari Dictionary Python:** Kunci dictionary menjadi nama kolom, dan nilai (yang bisa berupa list, array NumPy, atau Series) menjadi data kolom tersebut. Jika nilai berupa list atau array, panjangnya harus sama.³³

Python

```
data = {'KolomA': , 'KolomB': ['x', 'y', 'z']}
df_from_dict = pd.DataFrame(data)
```

- **Dari List of Lists (atau Array NumPy):** Setiap list dalam list (atau baris dalam array NumPy) menjadi satu baris dalam DataFrame. Nama kolom dapat ditentukan secara opsional menggunakan argumen `columns`.³³

Python

```
data_list = [['Alice', 25], ['Charlie', 22]]
df_from_list = pd.DataFrame(data_list, columns=['Nama', 'Usia'])
```

- **Membaca dari File CSV:** Ini adalah salah satu cara paling umum untuk membuat DataFrame. Fungsi `pd.read_csv()` digunakan untuk membaca data dari file Comma Separated Values (CSV).³²

Python

```
# Misalkan ada file 'katalog_bintang.csv'
# df_katalog_csv = pd.read_csv('katalog_bintang.csv')
```

Pandas juga mendukung pembacaan dari berbagai format file lain seperti Excel (`pd.read_excel()`), tabel SQL (`pd.read_sql()`), JSON (`pd.read_json()`), dan bahkan file FITS (biasanya melalui integrasi dengan Astropy).³²

2.4.3 Inspeksi Data

Setelah DataFrame dibuat atau dimuat, langkah penting pertama adalah melakukan inspeksi untuk memahami struktur dan kontennya:

- **`df.head(n)`:** Menampilkan `n` baris pertama dari DataFrame (default `n=5`).³³ Berguna untuk melihat sampel data awal.
- **`df.tail(n)`:** Menampilkan `n` baris terakhir dari DataFrame (default `n=5`).³³ Berguna untuk memeriksa akhir data.
- **`df.info()`:** Memberikan ringkasan ringkas tentang DataFrame, termasuk tipe data setiap kolom, jumlah nilai non-null (tidak hilang), dan penggunaan memori.³³ Sangat berguna untuk pemeriksaan kualitas data awal.
- **`df.describe()`:** Menghasilkan statistik deskriptif untuk kolom-kolom numerik, seperti jumlah hitungan, rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, kuartil (25%, 50%, 75%), dan nilai maksimum.³³ Untuk kolom non-numerik, ia dapat memberikan informasi seperti jumlah nilai unik, nilai yang paling sering muncul (top), dan frekuensinya.
- **`df.shape`:** Mengembalikan sebuah tuple yang berisi jumlah baris dan jumlah kolom

(jumlah_baris, jumlah_kolom).³³

- **df.columns:** Mengembalikan daftar nama-nama kolom.³³
- **df.index:** Menyediakan informasi tentang indeks baris DataFrame (misalnya, rentang integer, label tanggal, dll.).
- **df.dtypes:** Mengembalikan Series yang berisi tipe data dari setiap kolom.³³

Contoh penggunaan dalam astronomi: Setelah memuat katalog bintang dari file CSV, gunakan `df.info()` untuk memeriksa apakah kolom magnitudo dibaca sebagai numerik dan apakah ada nilai yang hilang, lalu gunakan `df.describe()` untuk mendapatkan gambaran distribusi magnitudo dan parameter lainnya.

2.4.4 Seleksi Data

Pandas menyediakan berbagai cara yang fleksibel untuk memilih (mengambil subset) data dari DataFrame:

- **Seleksi Kolom:**
 - `df['nama_kolom']`: Memilih satu kolom sebagai objek Series.
 - `df[['kolom1', 'kolom2']]`: Memilih beberapa kolom sebagai DataFrame baru.
- **Seleksi Baris menggunakan `.loc` (berdasarkan label):**
`.loc` digunakan untuk mengakses sekelompok baris dan kolom berdasarkan label atau array boolean.³³
 - `df.loc[label_baris]`: Memilih satu baris berdasarkan label indeksnya.
 - `df.loc['label_awal':'label_akhir']`: Memilih rentang baris (inklusif untuk `label_akhir`).
 - `df.loc[:, 'nama_kolom']`: Memilih semua baris untuk kolom tertentu.
 - `df.loc[[label1, label2],:]`: Memilih baris dan kolom tertentu berdasarkan daftar label. Penggunaan indeks berlabel yang efektif, seperti ID objek astronomi, meningkatkan keterbacaan kode dan mengurangi potensi kesalahan dalam seleksi dan penggabungan data dibandingkan menggunakan indeks numerik murni. Misalnya, `katalog.loc['NGC224']` (untuk Galaksi Andromeda) lebih intuitif daripada `katalog.iloc[indeks_numerik_andromeda]`.
- **Seleksi Baris menggunakan `.iloc` (berdasarkan posisi integer):**
`.iloc` digunakan untuk mengakses baris dan kolom berdasarkan posisi integer (indeks berbasis 0).³³
 - `df.iloc[posisi_baris]`: Memilih satu baris berdasarkan posisi integernya.
 - `df.iloc[pos_awal:pos_akhir]`: Memilih rentang baris (eksklusif untuk `pos_akhir`, seperti slicing Python standar).
 - `df.iloc[:, posisi_kolom]`: Memilih semua baris untuk kolom pada posisi integer

tertentu.

- `df.iloc[[pos1, pos2], [kol_pos1, kol_pos2]]`: Memilih baris dan kolom tertentu berdasarkan daftar posisi integer.
- Seleksi Kondisional (Boolean Indexing): Ini adalah cara yang sangat kuat untuk memfilter data berdasarkan kondisi tertentu.³³
 - `df[df['nama_kolom'] > nilai_ambang_batas]`: Memilih semua baris di mana nilai dalam 'nama_kolom' lebih besar dari nilai_ambang_batas.
 - Menggabungkan beberapa kondisi:

Python

```
df_filter = df[(df['magnitudo'] < 15.0) & (df['warna_bv'] > 0.5)]  
# Gunakan & untuk AND, | untuk OR, ~ untuk NOT.  
# Pastikan untuk menggunakan tanda kurung untuk setiap kondisi.
```

- Menggunakan metode `isin()`:

Python

```
tipe_yang_dicari = ['G2V', 'K0III', 'M5V']  
df_tipe_tertentu = df[df['tipe_spektral'].isin(tipe_yang_dicari)]
```

Contoh penggunaan dalam astronomi:

- Memilih semua bintang dari katalog dengan magnitudo V lebih terang dari 10: `katalog[katalog['mag_V'] < 10.0]`.
- Memilih semua galaksi dalam rentang *redshift* tertentu: `galaksi_df[(galaksi_df['redshift'] > 0.1) & (galaksi_df['redshift'] < 0.2)]`.

2.4.5 Manipulasi Data

Pandas menawarkan banyak fungsi untuk memanipulasi dan mengubah data:

- **Menambah Kolom Baru:** Kolom baru dapat ditambahkan dengan mudah.³³

Python

```
df['kolom_baru'] = df['kolom_lama1'] + df['kolom_lama2']  
# Contoh astronomi: menghitung indeks warna  
# katalog_df = katalog_df - katalog_df['mag_V']
```

- **Menghapus Kolom/Baris:**
 - `df.drop(labels=['nama_kolom'], axis=1, inplace=True)`: Menghapus kolom.

axis=1 untuk kolom, axis=0 untuk baris. inplace=True memodifikasi DataFrame asli.

- `del df['nama_kolom']`: Cara lain untuk menghapus kolom.
- **Menangani Data Hilang (NaN)**: Data astronomi seringkali memiliki nilai yang hilang atau tidak valid.
 - `df.isnull()` atau `df.isna()`: Mengembalikan DataFrame boolean yang menunjukkan di mana nilai-nilai hilang (True jika hilang).³³
 - `df.dropna(axis=0, how='any')`: Menghapus baris (axis=0) yang mengandung setidaknya satu nilai hilang (how='any').³³
 - `df.fillna(value=0)`: Mengisi semua nilai NaN dengan nilai tertentu (misalnya, 0, atau rata-rata kolom `df['kolom'].fillna(df['kolom'].mean())`).³³
- **`.sort_values(by='nama_kolom', ascending=True|False)`**: Mengurutkan DataFrame berdasarkan nilai dalam satu atau beberapa kolom.³³

Python

```
# Mengurutkan katalog berdasarkan magnitudo V dari yang paling terang  
# katalog_df_sorted = katalog_df.sort_values(by='magnitudo_v', ascending=True)
```

- **`.groupby(by='nama_kolom_atau_list_kolom')`**: Mengelompokkan data berdasarkan nilai dalam satu atau lebih kolom. Operasi ini sering diikuti oleh fungsi agregasi (`.sum()`, `.mean()`, `.count()`, `.std()`, dll.) untuk melakukan perhitungan pada setiap grup.³³

Python

```
# Menghitung magnitudo V rata-rata untuk setiap tipe spektral  
# rata_mag_per_tipe = katalog_df.groupby('tipe_spektral')['magnitudo_v'].mean()
```

- **Menggabungkan DataFrame**:
 - `pd.concat([df1, df2])`: Menggabungkan DataFrame secara vertikal (menumpuk baris) atau horisontal.
 - `pd.merge(df_kiri, df_kanan, on='kolom_kunci', how='inner'|'outer'|'left'|'right')`: Menggabungkan DataFrame berdasarkan kolom kunci, mirip dengan operasi JOIN di SQL. Sangat berguna untuk menggabungkan data dari katalog yang berbeda.
- **Menerapkan Fungsi**:
 - `df.apply(fungsi)`: Menerapkan fungsi ke setiap baris atau kolom.
 - `df['kolom'].apply(fungsi_kustom)`: Menerapkan fungsi ke setiap elemen dalam sebuah Series (kolom).

Contoh penggunaan dalam astronomi:

- Menghitung indeks warna untuk semua bintang dalam katalog.
- Membersihkan data katalog dari entri dengan magnitudo atau galat yang tidak valid.
- Mengelompokkan bintang berdasarkan tipe spektral dan menghitung properti fisik rata-rata untuk setiap tipe.

2.4.6 Membaca dan Menulis File (Fokus pada CSV)

Pandas memudahkan impor data dari dan ekspor data ke berbagai format file. CSV adalah format yang sangat umum.

- **Membaca File CSV:**

Python

```
df = pd.read_csv('nama_file.csv', sep=',', header=0, names=None, index_col=None, usecols=None, na_values=None).32
```

Beberapa parameter penting:

- `sep`: Karakter pemisah (default adalah koma ,).
- `header`: Nomor baris yang digunakan sebagai nama kolom (default 0, baris pertama). Jika tidak ada header, gunakan `header=None`.
- `names`: List nama kolom yang akan digunakan, berguna jika `header=None`.
- `index_col`: Kolom yang akan digunakan sebagai indeks baris.
- `usecols`: List nama kolom yang ingin dibaca.
- `na_values`: String atau list string yang akan diinterpretasikan sebagai NaN.

- **Menulis ke File CSV:**

Python

```
df.to_csv('output_file.csv', sep=',', index=True, header=True).32
```

Beberapa parameter penting:

- `index`: Apakah akan menulis indeks DataFrame sebagai kolom (default True). Seringkali diatur ke False jika indeks tidak bermakna.
- `header`: Apakah akan menulis nama kolom sebagai baris pertama (default True).

Contoh penggunaan dalam astronomi: Membaca katalog objek yang diunduh dari database astronomi seperti VizieR atau SIMBAD dalam format CSV, kemudian setelah

analisis, menyimpan hasilnya kembali ke file CSV baru.

2.4.7 Contoh Aplikasi dalam Astronomi

Pandas adalah alat serbaguna dalam alur kerja analisis data astronomi:

- **Mengelola Katalog Bintang/Galaksi:** Memuat data dari file (CSV, FITS tabel), memfilter objek berdasarkan kriteria seperti magnitudo, warna, tipe spektral, atau jarak. Melakukan *cross-matching* antara katalog yang berbeda berdasarkan koordinat atau ID objek.²⁷
- **Analisis Data Observasi:** Mengelola log observasi yang berisi informasi tentang waktu, target, kondisi cuaca, dan parameter instrumen. Menganalisis data deret waktu, seperti kurva cahaya dari bintang variabel atau transit exoplanet, dengan menandai waktu dan melakukan operasi berbasis waktu.
- **Persiapan Data untuk *Machine Learning*:** Pandas sering digunakan untuk tahap pra-pemrosesan data sebelum data tersebut dimasukkan ke dalam model *machine learning* untuk tugas-tugas seperti klasifikasi objek astronomi atau estimasi parameter.

Kemampuan Pandas untuk menangani data tabular dari berbagai sumber, membersihkannya, dan mengubahnya ke format yang sesuai untuk analisis lebih lanjut menjadikannya "lem" yang merekatkan berbagai tahapan dalam alur kerja data astronomi. Ini memungkinkan peneliti untuk lebih fokus pada interpretasi ilmiah daripada terjebak dalam detail implementasi manipulasi data.

2.4.8 Perbandingan Astropy Table dengan Pandas DataFrame untuk Data Astronomi

Meskipun Pandas DataFrame sangat kuat untuk analisis data tabular umum, komunitas astronomi juga telah mengembangkan Astropy Table yang dirancang khusus dengan mempertimbangkan kebutuhan astronomi.³⁵

- **Astropy Table:**
 - **Dukungan Unit Fisika:** Keunggulan utama Astropy Table adalah dukungan aslinya untuk unit fisika melalui objek `astropy.units.Quantity` dalam kolom.³⁵ Ini memastikan bahwa perhitungan yang melibatkan kuantitas fisik (misalnya, fluks, jarak, kecepatan) dilakukan dengan benar dan unitnya dilacak secara otomatis.
 - **Kolom Multi-dimensi dan Terstruktur:** Astropy Table dapat secara native menyimpan kolom yang berisi data multi-dimensi (misalnya, *thumbnail* citra kecil atau spektrum pendek untuk setiap baris/objek) atau data terstruktur

(misalnya, objek `EarthLocation` dari `Astropy`).³⁵

- **Metadata FITS dan VOTable:** `Astropy Table` dirancang untuk membaca dan menulis metadata dari format file astronomi standar seperti FITS dan VOTable secara *loss/less* (tanpa kehilangan informasi).³⁵ Ini penting untuk menjaga integritas informasi deskriptif yang menyertai data ilmiah.
- **Tipe Data Astronomi Spesifik:** Integrasi yang mulus dengan tipe data astronomi lain dari `Astropy`, seperti `astropy.time.Time` untuk waktu presisi tinggi (termasuk detik kabisat) dan `astropy.coordinates.SkyCoord` untuk koordinat langit.³⁵
- **Pandas DataFrame:**
 - Merupakan pustaka analisis data umum dengan ekosistem yang sangat luas dan matang untuk manipulasi data tabular, pembersihan, dan operasi `groupby/merge` yang kompleks.
 - Namun, `Pandas DataFrame` tidak memiliki dukungan bawaan untuk unit fisika, metadata astronomi spesifik, atau kolom multi-dimensi seperti yang dimiliki `Astropy Table`.³⁵ Penanganan waktu di `Pandas` juga memiliki keterbatasan untuk aplikasi astronomi presisi tinggi (misalnya, tidak ada dukungan detik kabisat, presisi waktu 64-bit).³⁵
- **Interoperabilitas:** Untungnya, sangat mudah untuk mengkonversi antara `Astropy Table` dan `Pandas DataFrame` menggunakan metode seperti `table.to_pandas()` dan `Table.from_pandas(dataframe)`.³⁵ Ini memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan keunggulan kedua pustaka dalam alur kerja yang sama.
- **Kapan Menggunakan Mana:**
 - Gunakan **Astropy Table** jika proyek Anda sangat bergantung pada unit fisika, metadata FITS/VOTable yang detail, atau tipe data astronomi spesifik dari `Astropy`.
 - Gunakan **Pandas DataFrame** untuk tugas analisis data tabular umum, pembersihan data yang kompleks, atau jika Anda memerlukan fungsionalitas dari ekosistem `Pandas` yang lebih luas yang mungkin belum ada di `Astropy Table`. Seringkali, pilihan terbaik adalah menggunakan keduanya secara sinergis. Misalnya, data dapat dimuat dan diproses awal menggunakan `Astropy Table` untuk memanfaatkan penanganan unit dan metadata, kemudian dikonversi ke `Pandas DataFrame` untuk analisis statistik atau *machine learning* yang lebih canggih, dan hasilnya mungkin dikonversi kembali ke `Astropy Table` untuk disimpan dengan metadata yang sesuai. Adanya alat khusus domain (`Astropy Table`) yang dapat berinteraksi dengan alat umum (`Pandas`) menunjukkan kematangan ekosistem Python ilmiah, memungkinkan pengguna

memilih alat terbaik untuk setiap bagian tugas.

Berikut adalah tabel ringkasan metode Pandas esensial:

Tabel 2.3: Metode Pandas DataFrame/Series Esensial untuk Pengolahan Data Astronomi

Kategori Operasi	Metode Pandas	Deskripsi Singkat	Contoh Penggunaan Singkat (Konteks Astronomi)
Pembuatan	<code>pd.DataFrame()</code> , <code>pd.Series()</code> , <code>pd.read_csv()</code>	Membuat DataFrame/Series dari berbagai sumber, termasuk file CSV.	<code>df_katalog = pd.read_csv('sdss_galaxies.csv')</code>
Inspeksi	<code>df.head()</code> , <code>df.tail()</code> , <code>df.info()</code> , <code>df.describe()</code> , <code>df.shape</code> , <code>df.columns</code>	Menampilkan data awal/akhir, ringkasan informasi, statistik deskriptif, dimensi, dan nama kolom.	<code>df_katalog.info()</code> (cek tipe data & missing values)
Seleksi	<code>df['col']</code> , <code>df[['col1', 'col2']]</code> , <code>df.loc</code> , <code>df.iloc</code> , <code>df[kondisi]</code>	Memilih kolom, baris berdasarkan label atau posisi, dan seleksi kondisional.	<code>bintang_terang = df_katalog[df_katalog['magnitudo_g'] < 17.0]</code>
Manipulasi	<code>df['new_col']=...</code> , <code>df.drop()</code> , <code>df.isnull()</code> , <code>df.dropna()</code> , <code>df.fillna()</code>	Menambah/menghapus kolom, mengecek/menangani nilai hilang.	<code>df_katalog['warna_g_r'] = df_katalog['magnitudo_g'] - df_katalog['magnitudo_r']</code>
	<code>df.sort_values()</code> , <code>df.groupby().agg_func()</code>	Mengurutkan data, mengelompokkan data dan menerapkan fungsi agregasi.	<code>rata_warna_per_tipe = df_katalog.groupby('tipe_morfologi')['warna_g_r'].mean()</code>

			<code>a_g_r'].mean()</code>
Input/Output	<code>df.to_csv()</code>	Menyimpan DataFrame ke file CSV.	<code>hasil_analisis.to_csv('katalog_terfilter.csv', index=False)</code>

Dengan pemahaman ini, pengguna dapat secara efektif memanfaatkan Pandas untuk berbagai tugas pengolahan data tabular dalam penelitian astronomi.

2.5 Dasar-dasar Plotting dengan Matplotlib dan Seaborn

Visualisasi data adalah komponen krusial dalam komputasi astronomi, memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi data, mengidentifikasi pola, dan mengkomunikasikan hasil temuan. Python menawarkan dua pustaka utama untuk plotting: Matplotlib, yang menyediakan fondasi dan kontrol tingkat rendah, dan Seaborn, yang dibangun di atas Matplotlib untuk membuat plot statistik yang lebih menarik dan informatif dengan lebih mudah.³⁷

2.5.1 Pengenalan Matplotlib dan Pyplot

Matplotlib adalah pustaka plotting 2D yang sangat komprehensif dan fleksibel di Python, mampu menghasilkan gambar berkualitas publikasi dalam berbagai format.⁴² Modul `matplotlib.pyplot` menyediakan antarmuka berbasis *state* yang mirip dengan MATLAB, memungkinkan pembuatan plot dengan cepat dan mudah untuk penggunaan interaktif.⁴²

Anatomi Plot Matplotlib:

Memahami komponen dasar dari sebuah plot Matplotlib penting untuk kustomisasi:

- **Figure:** Objek tingkat atas yang mewadahi semua elemen plot. Sebuah Figure dapat berisi satu atau beberapa Axes. Anggap saja sebagai kanvas keseluruhan.
- **Axes:** Ini adalah area di mana data sebenarnya diplot dengan sumbu x dan y (dan z untuk plot 3D). Sebuah Figure dapat memiliki banyak Axes (disebut *subplots*). Ini adalah "plot" individual.
- **Judul (`plt.title("Judul Plot")`):** Memberikan judul untuk sebuah Axes.⁴²
- **Label Sumbu (`plt.xlabel("Label Sumbu X")`, `plt.ylabel("Label Sumbu Y")`):** Memberikan deskripsi untuk sumbu x dan y.⁴²
- **Legenda (`plt.legend()`):** Menjelaskan arti dari berbagai elemen yang diplot (misalnya, garis atau simbol yang berbeda mewakili set data yang berbeda). Ini

memerlukan pemberian argumen label saat membuat elemen plot.⁴²

- **Ticks dan Tick Labels (`plt.xticks()`, `plt.yticks()`):** Ticks adalah tanda penunjuk pada sumbu, dan *tick labels* adalah nilai yang ditampilkan pada *ticks* tersebut, yang menunjukkan skala data.⁴²

2.5.2 Membuat Plot Dasar dengan Pyplot

Berikut adalah beberapa jenis plot dasar yang dapat dibuat dengan `matplotlib.pyplot`:

- **Plot Garis (`plt.plot(x, y)`):** Menghubungkan serangkaian titik data (x, y) dengan garis. Sangat berguna untuk memvisualisasikan data deret waktu (seperti kurva cahaya bintang variabel) atau spektrum (fluks vs panjang gelombang).⁴²

```
Python
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Contoh data spektrum sederhana
panjang_gelombang = np.array()
fluks = np.array([0.5, 0.8, 1.2, 1.5, 1.1, 0.7, 0.4])
# plt.plot(panjang_gelombang, fluks)
# plt.xlabel("Panjang Gelombang (nm)")
# plt.ylabel("Fluks Relatif")
# plt.title("Spektrum Bintang Contoh")
# plt.show()
```

- **Scatter Plot (`plt.scatter(x, y)`):** Menampilkan titik data individual sebagai simbol. Sangat baik untuk menunjukkan hubungan atau korelasi antara dua variabel numerik, seperti dalam Diagram Warna-Magnitudo (CMD) atau plot parameter lainnya.⁴²

```
Python
# Contoh data untuk CMD
warna_bv = np.random.rand(50) * 1.5 # Indeks warna B-V
magnitudo_v = 10 - 5 * warna_bv + np.random.randn(50) * 0.5 # Magnitudo V

# plt.scatter(warna_bv, magnitudo_v)
# plt.xlabel("Indeks Warna (B-V)")
# plt.ylabel("Magnitudo V")
# plt.title("Diagram Warna-Magnitudo Contoh")
# plt.gca().invert_yaxis() # Sumbu magnitudo biasanya terbalik
# plt.show()
```

- **Histogram (`plt.hist(data, bins=n)`):** Menampilkan distribusi frekuensi dari satu set data dengan membaginya ke dalam sejumlah n interval (*bins*).⁴² Berguna untuk melihat distribusi parameter seperti *magnitudo*, *redshift*, atau *metalitas* dalam sampel objek astronomi.

```
Python
# Contoh data magnitudo
data_magnitudo_g = np.random.normal(loc=18.0, scale=1.5, size=1000) # Distribusi normal
plt.hist(data_magnitudo_g, bins=30, color='skyblue', edgecolor='black')
plt.xlabel("Magnitudo g")
plt.ylabel("Frekuensi")
plt.title("Distribusi Magnitudo g")
plt.show()
```

2.5.3 Kustomisasi Plot

Matplotlib menyediakan banyak opsi untuk mengkustomisasi tampilan plot agar lebih informatif dan menarik secara visual:

- **Warna:** Menggunakan parameter `color` dalam fungsi plotting (misalnya, `color='red'`, `color='b'` untuk biru, atau kode hex seperti `color='#FF5733'`).
- **Gaya Garis (`linestyle` atau `ls`):** Untuk `plt.plot()`, contohnya `linestyle='-'` (solid/standar), `linestyle='--'` (dashed), `linestyle='.'` (dotted), `linestyle='-.'` (dash-dot).
- **Marker (untuk `plt.plot()` dan `plt.scatter()`):** Menggunakan parameter `marker` (misalnya, `marker='.'` untuk titik, `marker='o'` untuk lingkaran, `marker='s'` untuk kotak, `marker='*'` untuk bintang).
- **Ukuran Marker (`markersize` atau `s` untuk `plt.scatter()`):** Mengontrol ukuran simbol marker.
- **Transparansi (`alpha`):** Nilai antara 0 (sepenuhnya transparan) dan 1 (sepenuhnya opak). Berguna ketika banyak titik data tumpang tindih.
- **Label Sumbu dan Judul:** Seperti yang telah disebutkan, menggunakan `plt.xlabel()`, `plt.ylabel()`, dan `plt.title()`.⁴²
- **Legenda:** Panggil `plt.legend()` setelah semua elemen plot dengan argumen label telah dibuat.⁴²
- **Grid:** Menambahkan grid ke plot dengan `plt.grid(True)`.
- **Batas Sumbu:** Mengatur rentang sumbu x dan y secara manual dengan `plt.xlim(xmin, xmax)` dan `plt.ylim(ymin, ymax)`.

2.5.4 Subplots (Beberapa Plot dalam Satu Figure)

Seringkali berguna untuk menampilkan beberapa plot terkait dalam satu gambar (*figure*). Matplotlib memungkinkan ini melalui *subplots*.

- **plt.subplot(jumlah_baris, jumlah_kolom, nomor_plot):** Cara klasik untuk membuat grid subplot. nomor_plot dimulai dari 1 di sudut kiri atas dan berjalan ke kanan, lalu ke bawah.⁴²

Python

```
# plt.figure(figsize=(10, 4)) # Mengatur ukuran figure
```

```
# plt.subplot(1, 2, 1) # Figure 1 baris, 2 kolom, plot ke-1
# plt.plot(panjang_gelombang, fluks, color='blue')
# plt.title("Spektrum")
```

```
# plt.subplot(1, 2, 2) # Figure 1 baris, 2 kolom, plot ke-2
# plt.hist(data_magnitudo_g, bins=20, color='green')
# plt.title("Histogram Magnitudo")
```

```
# plt.tight_layout() # Menyesuaikan layout agar tidak tumpang tindih
# plt.show()
```

- **fig, axes = plt.subplots(jumlah_baris, jumlah_kolom):** Pendekatan yang lebih modern dan berorientasi objek. fig adalah objek Figure, dan axes adalah array NumPy dari objek Axes (atau satu objek Axes jika hanya satu subplot). Ini memberikan kontrol yang lebih baik, terutama untuk kustomisasi yang lebih kompleks.

Python

```
# fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(10, 4))
```

```
# ax1.plot(panjang_gelombang, fluks, color='blue')
# ax1.set_title("Spektrum")
# ax1.set_xlabel("Panjang Gelombang (nm)")
# ax1.set_ylabel("Fluks Relatif")
```

```
# ax2.hist(data_magnitudo_g, bins=20, color='green')
# ax2.set_title("Histogram Magnitudo")
# ax2.set_xlabel("Magnitudo g")
# ax2.set_ylabel("Frekuensi")
```

```
# plt.tight_layout()
# plt.show()
```

Contoh penggunaan dalam astronomi: Menampilkan citra astronomi asli, citra setelah dikurangi *background*, dan histogram distribusi nilai pikselnya dalam satu *figure* secara berdampingan. Atau, menampilkan kurva cahaya sebuah objek dalam beberapa filter warna yang berbeda.

2.5.5 Menyimpan Plot (plt.savefig())

Setelah plot dibuat dan disesuaikan, plot tersebut dapat disimpan ke file menggunakan fungsi plt.savefig().⁴²

- **Sintaks Dasar:** plt.savefig('nama_file.format')
- **Format Populer:** Matplotlib mendukung berbagai format output, termasuk PNG (.png), PDF (.pdf), SVG (.svg), EPS (.eps), dan JPG (.jpg). Format biasanya disimpulkan dari ekstensi nama file yang diberikan.⁴⁹
- **Parameter Penting:**
 - dpi (Dots Per Inch): Mengontrol resolusi gambar yang disimpan. Nilai yang lebih tinggi menghasilkan resolusi yang lebih baik (misalnya, dpi=300 untuk kualitas publikasi).⁴⁹
 - bbox_inches='tight': Sering digunakan untuk menghilangkan *whitespace* (ruang putih) berlebih di sekitar plot, sehingga plot mengisi area gambar secara optimal.⁴⁹
 - transparent=True: Membuat latar belakang plot menjadi transparan.

```
Python
# fig.savefig('cmd_bintang.png', dpi=300, bbox_inches='tight')
```

2.5.6 Pengenalan Seaborn dan Keunggulannya

Seaborn adalah pustaka visualisasi data Python yang dibangun di atas Matplotlib. Seaborn menyediakan antarmuka tingkat tinggi untuk menggambar grafik statistik yang menarik dan informatif dengan lebih sedikit kode dibandingkan Matplotlib murni.³⁷

Keunggulan Seaborn:

- **Dibangun di atas Matplotlib:** Karena Seaborn menggunakan Matplotlib "di bawah tenda", plot Seaborn dapat dikustomisasi lebih lanjut menggunakan perintah Matplotlib.
- **Fungsi Plotting Statistik yang Sederhana:** Seaborn unggul dalam membuat plot

statistik yang kompleks (seperti plot distribusi, regresi, atau data kategorikal) dengan fungsi yang intuitif.

- **Tema dan Palet Warna Default yang Menarik:** Seaborn hadir dengan beberapa tema dan palet warna bawaan yang dirancang dengan baik, membuat plot terlihat profesional dan menarik secara visual tanpa banyak kustomisasi manual.³⁷
- **Integrasi Erat dengan Pandas DataFrame:** Sebagian besar fungsi Seaborn dirancang untuk bekerja secara langsung dengan objek Pandas DataFrame, memungkinkan pemetaan kolom DataFrame ke berbagai aspek visual plot (seperti sumbu x, y, warna, ukuran, gaya) dengan mudah.³⁷
- **Kode Lebih Sedikit untuk Plot Kompleks:** Untuk banyak plot statistik umum, Seaborn memerlukan jauh lebih sedikit baris kode dibandingkan jika membuatnya dari awal dengan Matplotlib.⁴⁰

Kombinasi Matplotlib sebagai fondasi untuk kontrol detail dan Seaborn sebagai alat untuk produktivitas tinggi dalam visualisasi statistik menjadikan keduanya pasangan yang kuat. Matplotlib menyediakan fleksibilitas penuh, sementara Seaborn menyederhanakan pembuatan plot statistik yang umum dan menarik secara visual, terutama saat bekerja dengan Pandas DataFrames. Alur kerja analisis-visualisasi menjadi lebih mulus dan cepat.

2.5.7 Contoh Plot Statistik dengan Seaborn (menggunakan Pandas DataFrame)

Seaborn sangat efektif ketika data Anda sudah dalam bentuk Pandas DataFrame.

- **Histogram dengan Estimasi Kepadatan Kernel (sns.histplot()):**

Python

```
import seaborn as sns
```

```
# Misalkan 'katalog_df' adalah Pandas DataFrame dengan kolom 'magnitudo_r' dan 'tipe_galaksi'
```

```
# sns.histplot(data=katalog_df, x='magnitudo_r', hue='tipe_galaksi', kde=True)
```

```
# plt.title("Distribusi Magnitudo r berdasarkan Tipe Galaksi")
```

```
# plt.show().37
```

Parameter hue memisahkan histogram berdasarkan kategori, dan kde=True menambahkan kurva estimasi kepadatan kernel.

- **Scatter Plot (sns.scatterplot()):**

Python

```
# Misalkan 'katalog_df' memiliki kolom 'redshift', 'massa_bintang', dan 'lingkungan'
```

```
# sns.scatterplot(data=katalog_df, x='redshift', y='massa_bintang', hue='lingkungan',
```

```
size='ukuran_angular')
# plt.title("Massa Bintang vs Redshift")
# plt.show().37
```

hue dapat digunakan untuk warna, size untuk ukuran marker, dan style untuk gaya marker, semuanya dipetakan dari kolom DataFrame.

- **Box Plot (sns.boxplot()):** Berguna untuk membandingkan distribusi variabel numerik di berbagai kategori.

```
Python
# Misalkan 'katalog_df' memiliki kolom 'metalisitas' dan 'populasi_bintang' (misal, 'Pop I', 'Pop II')
# sns.boxplot(data=katalog_df, x='populasi_bintang', y='metalisitas')
# plt.title("Distribusi Metalisitas berdasarkan Populasi Bintang")
# plt.show().37
```

Plot lain yang serupa adalah `sns.violinplot()` yang menggabungkan box plot dengan estimasi kepadatan kernel. `sns.barplot()` menampilkan estimasi titik sentral (defaultnya rata-rata) dan interval kepercayaan. `sns.countplot()` menampilkan jumlah observasi dalam setiap bin kategorikal.³⁷

- **Line Plot (sns.lineplot()):** Sering digunakan untuk data deret waktu atau untuk menunjukkan tren.

```
Python
# Misalkan 'kurva_cahaya_df' memiliki kolom 'waktu_jd' dan 'fluks_relatif', serta 'filter_warna'
# sns.lineplot(data=kurva_cahaya_df, x='waktu_jd', y='fluks_relatif', hue='filter_warna',
style='filter_warna', markers=True)
# plt.title("Kurva Cahaya Bintang Variabel")
# plt.show().37
```

- **sns.pairplot(data=df, hue='kolom_kategori'):** Membuat grid scatter plot untuk semua pasangan variabel numerik dalam DataFrame dan histogram (atau KDE) di diagonalnya. Sangat berguna untuk eksplorasi data awal untuk melihat hubungan antar semua variabel.
- **sns.jointplot(data=df, x='kolom_x', y='kolom_y', kind='scatter'|'kde'|'hist'):** Menampilkan plot bivariat (hubungan antara kolom_x dan kolom_y) beserta distribusi univariat masing-masing variabel di tepinya.

2.5.8 Contoh Visualisasi Data Astronomi

Visualisasi memainkan peran penting dalam setiap tahap penelitian astronomi, mulai dari eksplorasi data awal, analisis, hingga presentasi hasil akhir.³⁹

- **Plot Kurva Cahaya:** Menggunakan `plt.plot()` atau `sns.lineplot()` untuk memplot perubahan kecerahan objek (fluks atau magnitudo) terhadap waktu. Ini fundamental untuk studi bintang variabel, transit exoplanet, supernova, dll.
- **Diagram Warna-Magnitudo (CMD):** Menggunakan `plt.scatter()` atau `sns.scatterplot()` untuk memplot magnitudo absolut atau semu suatu populasi bintang terhadap indeks warnanya (misalnya, B-V). CMD adalah alat diagnostik utama untuk mempelajari populasi bintang, usia, dan evolusinya.⁵²
- **Distribusi Parameter Fisik:** Menggunakan `plt.hist()` atau `sns.histplot()` untuk memvisualisasikan distribusi parameter seperti massa bintang, metalisitas, *redshift* galaksi, atau periode rotasi asteroid dalam sebuah sampel.
- **Visualisasi Hasil Perhitungan Posisi Benda Langit:** Data posisi benda langit (misalnya, RA dan Dec dari Bulan atau planet pada interval waktu tertentu), yang mungkin dihitung menggunakan pustaka seperti Astropy atau Skyfield, dapat divisualisasikan sebagai jalur di langit menggunakan `plt.plot()` atau `plt.scatter()`.²⁸
- **Visualisasi Peta Visibilitas Hilal:** Contoh yang lebih spesifik adalah pembuatan peta geografis yang menunjukkan daerah di mana hilal (bulan sabit muda) kemungkinan akan terlihat, berdasarkan kriteria astronomi seperti kriteria Yallop atau Odeh.⁵⁵ Ini melibatkan perhitungan astronomi yang kompleks untuk setiap titik di peta, diikuti oleh visualisasi menggunakan Matplotlib/Seaborn, seringkali dengan bantuan pustaka pemetaan geografis seperti Cartopy.

Evolusi alat plotting di Python, dari fleksibilitas tingkat rendah Matplotlib hingga kemudahan penggunaan dan fokus statistik Seaborn, serta integrasi eratnya dengan Pandas, telah secara signifikan memberdayakan para astronom. Kemampuan untuk menghasilkan visualisasi yang kompleks dan informatif dengan relatif mudah mempercepat proses penemuan dan pemahaman data astronomi yang semakin besar dan kompleks.

Berikut adalah tabel ringkasan jenis plot umum dalam astronomi:

Tabel 2.4: Jenis Plot Umum dalam Astronomi dengan Matplotlib dan Seaborn

Jenis Plot	Deskripsi Singkat	Contoh Penggunaan dalam Astronomi	Sintaks Dasar Matplotlib (plt.)	Sintaks Dasar Seaborn (sns.)
Plot Garis	Menghubungkan titik data dengan garis.	Kurva cahaya, spektrum, tren data deret waktu.	<code>plt.plot(x, y)</code>	<code>sns.lineplot(data=df, x='col_x', y='col_y')</code>
Scatter Plot	Menampilkan titik data individual.	Diagram Warna-Magnitudo (CMD), hubungan antar parameter fisik, distribusi spasial objek.	<code>plt.scatter(x, y)</code>	<code>sns.scatterplot(data=df, x='col_x', y='col_y', hue='kat')</code>
Histogram	Menampilkan distribusi frekuensi data.	Distribusi magnitudo, redshift, massa bintang, periode.	<code>plt.hist(data, bins=N)</code>	<code>sns.histplot(data=df, x='col', hue='kat', kde=True)</code>
Box Plot	Menampilkan ringkasan statistik (median, kuartil, outlier) per kategori.	Perbandingan distribusi parameter (misalnya, metalisitas) antar populasi bintang atau tipe galaksi.	<code>plt.boxplot(data_per_kategori)</code> (membutuhkan pra-pemrosesan data)	<code>sns.boxplot(data=df, x='kategori', y='numerik')</code>

Tabel ini memberikan perbandingan langsung antara dua pustaka plotting utama untuk kasus penggunaan umum dalam astronomi, membantu pembaca memahami kapan harus menggunakan masing-masing pustaka dan bagaimana sintaks dasarnya berbeda.

2.6 Kesimpulan

Bab ini telah meletakkan dasar-dasar penggunaan Python untuk komputasi astronomi. Dimulai dengan panduan instalasi Python dan konfigurasi lingkungan pengembangan menggunakan Anaconda dan VS Code, yang memastikan bahwa pengguna memiliki alat yang tepat untuk memulai. Pengenalan tipe data fundamental Python (angka, string, boolean) dan struktur data inti (List, Tuple, Dictionary) memberikan pemahaman tentang bagaimana data dapat direpresentasikan dan dimanipulasi. Konsep kontrol alur (pernyataan kondisional dan perulangan) serta fungsi memungkinkan penulisan skrip yang logis dan modular.

Selanjutnya, bab ini mendalami pustaka NumPy, yang merupakan tulang punggung komputasi numerik di Python. Kemampuan ndarray untuk menangani array besar secara efisien, bersama dengan operasi vektorisasi, *broadcasting*, dan beragam fungsi matematika serta statistik, menjadikannya alat yang sangat diperlukan untuk analisis data astronomi kuantitatif. Pustaka Pandas kemudian diperkenalkan sebagai solusi untuk pengolahan data tabular. Dengan struktur data Series dan DataFrame, Pandas menyederhanakan tugas-tugas seperti pemuatan data dari berbagai format (terutama CSV), inspeksi, seleksi, pembersihan, transformasi, dan agregasi data katalog astronomi. Perbandingan antara Astropy Table dan Pandas DataFrame juga disorot, memberikan panduan kapan harus memilih alat yang lebih terspesialisasi untuk astronomi.

Terakhir, dasar-dasar visualisasi data menggunakan Matplotlib dan Seaborn dibahas. Matplotlib menyediakan kontrol detail untuk membuat berbagai jenis plot, sementara Seaborn menawarkan antarmuka tingkat tinggi untuk menghasilkan plot statistik yang menarik dengan lebih sedikit kode, terutama saat bekerja dengan Pandas DataFrame. Kemampuan untuk membuat plot garis, scatter plot, histogram, dan menyesuaikannya, serta menyimpan hasilnya, adalah keterampilan penting bagi setiap astronom.

Dengan menguasai konsep-konsep yang diuraikan dalam bab ini, pembaca akan memiliki fondasi yang kuat untuk melanjutkan ke topik-topik yang lebih lanjut dalam komputasi astronomi menggunakan Python, termasuk penggunaan pustaka astronomi spesifik seperti Astropy dan aplikasi dalam analisis data astronomi yang lebih kompleks.

Karya yang dikutip

1. [1807.04806] Use of Python programming language in astronomy and science - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/1807.04806>
2. (PDF) Python for Scientific Computing - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/3422935_Python_for_Scientific_Computing
3. Download Python | Python.org, diakses Mei 10, 2025, <https://www.python.org/downloads/>
4. Working with conda - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/tools/working-with-conda/main>
5. Anaconda Documentation - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/main>
6. Getting Started with Python in VS Code - Visual Studio Code, diakses Mei 10, 2025, <https://code.visualstudio.com/docs/python/python-tutorial>
7. Setting Up Python For Scientific Computing - Caltech, diakses Mei 10, 2025, https://www.rpgroup.caltech.edu/gist_pboc_2017/code/html/setting_up_python.html
8. Environments - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/tools/working-with-conda/environments>
9. How to use Conda as your Python environment - Read the Docs, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.readthedocs.com/platform/stable/guides/conda.html>
10. Setting Up VSCode For Python: A Complete Guide - DataCamp, diakses Mei 10, 2025, <https://www.datacamp.com/tutorial/setting-up-vscode-python>
11. Python Development in VSCode: Setting Up and Best Practices - DEV Community, diakses Mei 10, 2025, <https://dev.to/umeshtharukaofficial/python-development-in-vscode-setting-up-and-best-practices-de2>
12. PyCharm: The only Python IDE you need - JetBrains, diakses Mei 10, 2025, <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
13. JetBrains: Essential tools for software developers and teams, diakses Mei 10, 2025, <https://www.jetbrains.com/>
14. PyCharm: The IDE for data and ML professionals - JetBrains, diakses Mei 10, 2025, <https://www.jetbrains.com/pycharm/data-science/>
15. Official repository for Spyder - The Scientific Python Development Environment - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/spyder-ide/spyder>
16. Spyder | The Python IDE that scientists and data analysts deserve, diakses Mei 10, 2025, <https://www.spyder-ide.org/>
17. Spyder - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/tools/working-with-conda/ide-tutorials/spyder>
18. 3. Data model — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/reference/datamodel.html>
19. Python Data Types | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/python-data-types/>

20. 5. Data Structures — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/tutorial/datastructures.html>
21. Introduction to Python Programming - Itasca Software Documentation Sets, diakses Mei 10, 2025, https://docs.itascacg.com/itasca900/common/docproject/source/manual/scripting/python/doc/basic_python.py.html
22. collections — Container datatypes — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/library/collections.html>
23. 8. Compound statements — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://docs.python.org/3/reference/compound_stmts.html
24. 4. More Control Flow Tools — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/tutorial/controlflow.html>
25. NumPy Tutorial – Python Library | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/numpy-tutorial/>
26. NumPy quickstart — NumPy v2.2 Manual, diakses Mei 10, 2025, <https://numpy.org/doc/stable/user/quickstart.html>
27. Python for Astronomical Data Analysis: Uncover Cosmos, diakses Mei 10, 2025, <https://astrogazing.in/introduction-to-python-for-astronomical-data-analysis-unveiling-the-cosmos-with-code/>
28. Statistics, Data Mining, and Machine Learning in Astronomy: A Practical Python Guide for the Analysis of Survey Data | Princeton Scholarship Online | Oxford Academic, diakses Mei 10, 2025, <https://academic.oup.com/princeton-scholarship-online/book/37105>
29. DEVELOPMENT OF A PYTHON-BASED POSITION CALCULATION ..., diakses Mei 10, 2025, <https://online-journal.unja.ac.id/EDP/article/view/29053>
30. Python For Data Analytics: A Systematic Literature Review Of Tools, Techniques, And Applications - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385805476_Python_For_Data_Analytics_A_Systematic_Literature_Review_Of_Tools_Techniques_And_Applications
31. Expanding Horizons: Applications of Numpy and Pandas in Bioinformatics, Astronomy, and Social Networks | CodeSignal Learn, diakses Mei 10, 2025, https://codesignal.com/learn/courses/deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data/lessons/expanding-horizons-applications-of-numpy-and-pandas-in-bioinformatics-astronomy-and-social-networks?ref=proaitools&utm_source=proaitools&utm_medium=referral&courseSlug=deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data&unitSlug=looking-ahead-the-future-of-generative-ai&urlSlug=journey-into-data-science-with-python
32. Pandas Tutorial | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/pandas-tutorial/>
33. 10 minutes to pandas — pandas 2.2.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://pandas.pydata.org/docs/user_guide/10min.html
34. Getting started — pandas 2.2.3 documentation - PyData |, diakses Mei 10, 2025,

- https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/index.html
35. Astropy Table and DataFrames — Astropy v7.2.dev28+g5c2a9f1b2, diakses Mei 10, 2025, https://docs.astropy.org/en/latest/table/table_and_dataframes.html
 36. Foundations of Astronomical Data Science: Plotting and Pandas, diakses Mei 10, 2025, <https://datacarpentry.github.io/astronomy-python/04-motion.html>
 37. Python Seaborn Tutorial | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/python-seaborn-tutorial/>
 38. Seaborn tutorial for beginners - Kaggle, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kaggle.com/code/prashant111/seaborn-tutorial-for-beginners>
 39. Free Video: Python Data Analysis and Visualization Course ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.classcentral.com/course/freecodecamp-python-data-analysis-and-visualization-course-astronomical-data-277751>
 40. Seaborn vs Matplotlib - Visualize data beyond - Techify Solutions, diakses Mei 10, 2025, <https://techifysolutions.com/blog/seaborn-vs-matplotlib/>
 41. An introduction to seaborn — seaborn 0.13.2 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://seaborn.pydata.org/tutorial/introduction.html>
 42. Pyplot tutorial — Matplotlib 3.10.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://matplotlib.org/stable/tutorials/pyplot.html>
 43. Matplotlib Tutorial | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/matplotlib-tutorial/>
 44. Matplotlib Legends - Tutorialspoint, diakses Mei 10, 2025, https://www.tutorialspoint.com/matplotlib/matplotlib_legends.htm
 45. Legend guide — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/users/explain/axes/legend_guide.html
 46. Legend guide — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/tutorials/intermediate/legend_guide.html
 47. Matplotlib Ticks and Tick Labels - Tutorialspoint, diakses Mei 10, 2025, https://www.tutorialspoint.com/matplotlib/matplotlib_ticks_and_tick_labels.htm
 48. matplotlib.ticker — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/api/ticker_api.html
 49. How to Save a Plot to a File Using Matplotlib - Atlassian, diakses Mei 10, 2025, <https://www.atlassian.com/data/notebook/how-to-save-a-plot-to-a-file-using-matplotlib>
 50. Matplotlib savefig - Matplotlib Save Figure | Python matplotlib Tutorial - Indian AI Production, diakses Mei 10, 2025, <https://indianaiproduction.com/matplotlib-savefig/>
 51. matplotlib.pyplot.savefig — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/api/as_gen/matplotlib.pyplot.savefig.html
 52. Foundations of Astronomical Data Science: Visualization, diakses Mei 10, 2025, <https://datacarpentry.github.io/astronomy-python/08-plot.html>
 53. Python Data Analysis and Visualization Course – Astronomical Data - YouTube, diakses Mei 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=H9KefzbryEw>
 54. Examples of Plotting with Matplotlib — astroML 0.4 documentation, diakses Mei

10, 2025,

https://www.astroml.org/book_figures/appendix/fig_plotting_examples.html

55. crescent-moon-visibility - GitHub, diakses Mei 10, 2025,

<https://github.com/crescent-moon-visibility>

BAB III

SISTEM KOORDINAT DAN WAKTU DALAM ASTRONOMI

Pemahaman mengenai sistem koordinat dan skala waktu merupakan landasan fundamental dalam studi astronomi, baik untuk observasi maupun pengembangan teori. Sistem koordinat menyediakan kerangka kerja spasial yang esensial untuk menentukan dan melacak posisi benda-benda langit di bola langit yang maha luas. Sementara itu, definisi waktu yang presisi dan beragam menjadi krusial untuk mengukur perubahan fenomena kosmik, mulai dari pergerakan periodik planet dan bintang, peristiwa transien seperti supernova, hingga evolusi jangka panjang struktur alam semesta.¹ Tanpa sistem referensi yang terdefinisi dengan baik untuk ruang dan waktu, upaya untuk memahami dinamika dan sifat fisik alam semesta akan menjadi sangat terbatas.

Secara historis dan konseptual, terdapat keterkaitan yang erat antara astronomi modern dengan Astronomi, yaitu disiplin ilmu astronomi yang berkembang dalam peradaban Islam. Kebutuhan praktis dalam Astronomi, khususnya untuk menentukan waktu-waktu ibadah (seperti salat lima waktu dan puasa Ramadan) serta arah kiblat, sangat bergantung pada pengamatan dan perhitungan posisi Matahari dan Bulan yang akurat.³ Astronomi, sebagai cabang astronomi praktis, secara inheren menerapkan prinsip-prinsip yang sama dengan astronomi umum dalam memahami dan memprediksi fenomena langit. Kebutuhan akan sistem referensi yang universal dan presisi dalam astronomi tidak hanya didorong oleh keingintahuan ilmiah murni, tetapi juga oleh kebutuhan praktis peradaban, termasuk navigasi dan praktik keagamaan. Astronomi adalah contoh utama bagaimana observasi langit memiliki implikasi langsung pada kehidupan sehari-hari dan ritual keagamaan suatu peradaban.³

Bab ini akan mengupas secara rinci berbagai sistem koordinat langit yang umum digunakan, yaitu sistem koordinat horisontal, ekuatorial, dan ekliptika. Selanjutnya, akan dibahas konsep-konsep waktu yang relevan dalam astronomi, termasuk Waktu Matahari Sejati, Waktu Matahari Rata-rata, Waktu Universal, Waktu Sidereal, dan Waktu Julian. Bab ini juga akan mencakup metode perhitungan penanggalan dan konversi antara berbagai skala waktu dan kalender. Sebagai penutup, akan didemonstrasikan aplikasi komputasi modern menggunakan pustaka Python populer seperti Astropy dan Skyfield untuk melakukan konversi koordinat dan waktu, yang relevan baik untuk penelitian astronomi modern maupun aplikasi dalam Astronomi kontemporer.

3.1 Sistem Koordinat Langit

Untuk memetakan alam semesta dan memahami posisi serta pergerakan benda-benda langit, para astronom memerlukan sistem referensi spasial yang terdefinisi dengan baik. Sistem koordinat langit menyediakan kerangka kerja matematis untuk mencapai tujuan ini, memungkinkan penentuan lokasi objek di bola langit dari perspektif pengamat di Bumi maupun dalam konteks Tata Surya dan alam semesta yang lebih luas.

3.1.1 Konsep Bola Langit dan Titik-Titik Referensi Fundamental

Dasar dari semua sistem koordinat langit adalah konsep **Bola Langit (Celestial Sphere)**. Bola langit adalah sebuah bola khayal dengan radius yang dianggap tak terhingga, dengan pengamat atau pusat Bumi sebagai pusatnya.⁸ Semua benda langit, seperti bintang, planet, Matahari, dan Bulan, tampak seolah-olah diproyeksikan pada permukaan bagian dalam bola khayal ini. Meskipun model ini menyederhanakan kenyataan dengan mengabaikan jarak absolut benda-benda langit, ia sangat efektif untuk memvisualisasikan dan menghitung posisi sudut serta pergerakan semu harian dan tahunan mereka. Pemahaman bola langit dan elemen-elemen referensinya adalah prasyarat untuk memahami semua sistem koordinat yang akan dibahas.

Beberapa titik kardinal dan lingkaran fundamental pada bola langit menjadi acuan penting:

- **Titik-Titik Kardinal dan Lingkaran Fundamental Terkait Pengamat:**
 - **Zenit dan Nadir:** Zenit adalah titik di bola langit yang berada tepat di atas kepala pengamat (vertikal ke atas). Sebaliknya, Nadir adalah titik yang berlawanan arah dengan zenit, yaitu tepat di bawah kaki pengamat.⁸ Zenit dan nadir merupakan kutub-kutub dari sistem koordinat horisontal.
 - **Horison:** Horison adalah lingkaran besar pada bola langit yang menjadi batas antara belahan langit yang terlihat oleh pengamat dan belahan langit yang tidak terlihat (terhalang oleh Bumi). Bidang horison ini tegak lurus terhadap garis vertikal lokal yang menghubungkan zenit dan nadir.⁸ Horison merupakan bidang fundamental dalam sistem koordinat horisontal.
 - **Meridian Lokal:** Meridian lokal adalah sebuah lingkaran besar di bola langit yang melewati kutub langit utara, zenit pengamat, kutub langit selatan, dan nadir pengamat.⁸ Meridian lokal membagi langit menjadi dua bagian, yaitu belahan timur dan belahan barat. Saat sebuah benda langit melintasi meridian lokal, ia mencapai titik tertingginya (kulminasi atas) atau titik terendahnya (kulminasi bawah) di langit pada hari itu.

- **Titik-Titik Kardinal dan Lingkaran Fundamental Terkait Rotasi Bumi:**

- **Kutub Langit Utara (KLU) dan Kutub Langit Selatan (KLS):** KLU dan KLS adalah dua titik di bola langit yang merupakan proyeksi dari kutub utara dan kutub selatan geografis Bumi. Sumbu rotasi Bumi, jika diperpanjang ke angkasa, akan menembus bola langit di kedua titik ini.⁸ Akibat rotasi Bumi, semua benda langit tampak bergerak dalam lintasan melingkar mengelilingi kutub-kutub langit ini. Saat ini, KLU berada sangat dekat dengan bintang Polaris, yang menjadikannya sebagai bintang penunjuk arah utara yang penting di belahan Bumi utara.
- **Ekuator Langit:** Ekuator langit adalah proyeksi dari ekuator geografis Bumi ke bola langit. Ini merupakan sebuah lingkaran besar yang tegak lurus terhadap sumbu rotasi Bumi (dan dengan demikian, tegak lurus terhadap garis yang menghubungkan KLU dan KLS).⁸ Ekuator langit membagi bola langit menjadi belahan langit utara dan belahan langit selatan, dan menjadi bidang fundamental untuk sistem koordinat ekuatorial.

3.1.2 Sistem Koordinat Horisontal (Alt-Azimut)

Sistem koordinat horisontal, sering juga disebut sistem Alt-Azimut (Alt-Az), adalah sistem koordinat yang paling intuitif karena berpusat pada pengamat dan langsung mendeskripsikan posisi benda langit relatif terhadap horison lokal pengamat. Sistem ini menggunakan dua koordinat utama: altitude dan azimuth.

- **Definisi Altitude dan Azimut:**

- **Altitude (Ketinggian, a atau h):** Altitude adalah jarak sudut sebuah objek di atas atau di bawah horison pengamat, diukur sepanjang lingkaran vertikal (lingkaran besar yang melalui zenit dan objek tersebut) yang melalui objek tersebut. Nilai altitude berkisar dari 0° pada horison, $+90^\circ$ pada zenit (titik tepat di atas kepala), hingga -90° pada nadir (titik tepat di bawah kaki).²²
- **Azimut (A):** Azimut adalah jarak sudut yang diukur secara horisontal sepanjang horison dari sebuah titik referensi tertentu (biasanya titik Utara atau Selatan geografis) ke arah tertentu (biasanya Timur atau Barat) hingga ke proyeksi vertikal objek tersebut di horison.²² Penting untuk selalu mendefinisikan titik referensi dan arah pengukuran azimuth. Konvensi yang umum digunakan dalam astronomi modern adalah mengukur azimuth dari titik Utara (0°) ke arah Timur (90°), Selatan (180°), dan Barat (270°), sehingga nilainya berkisar dari 0° hingga 360° . Namun, beberapa tradisi, termasuk dalam navigasi, mungkin menggunakan titik Selatan sebagai referensi.

- **Titik Referensi:** Titik referensi fundamental untuk sistem koordinat horisontal adalah **horison lokal pengamat** dan **titik Utara (atau Selatan) geografis** di horison tersebut.²²
- **Kelebihan:**
 - **Intuitif dan Praktis:** Sistem ini sangat mudah dipahami karena secara langsung menggambarkan posisi objek sebagaimana terlihat oleh pengamat di langit pada saat itu.²⁴
 - **Pengarahan Teleskop:** Praktis untuk mengarahkan teleskop yang menggunakan *mounting alt-azimut*, di mana satu sumbu mengontrol gerakan vertikal (altitude) dan sumbu lainnya mengontrol gerakan horisontal (azimut).
 - **Komunikasi Visual:** Mudah digunakan untuk mengkomunikasikan posisi benda langit secara visual kepada orang lain (misalnya, "Bulan berada sekitar 30° di atas horison ke arah Barat Daya").
- **Kekurangan:**
 - **Lokal dan Spesifik Waktu:** Koordinat altitude dan azimut sebuah objek bersifat lokal, artinya nilainya bergantung pada lokasi geografis (lintang dan bujur) pengamat di permukaan Bumi.²²
 - **Berubah Seiring Waktu:** Akibat rotasi Bumi, benda-benda langit tampak bergerak melintasi langit. Oleh karena itu, nilai altitude dan azimut sebuah objek terus berubah seiring berjalannya waktu, bahkan untuk pengamat yang diam di satu lokasi.²²
 - **Tidak Universal untuk Katalog:** Karena sifatnya yang dinamis dan lokal, sistem koordinat horisontal tidak cocok untuk digunakan dalam katalog bintang universal atau untuk merekam posisi objek secara permanen.
- **Relevansi dalam Astronomi:** Sistem koordinat horisontal memiliki relevansi yang sangat tinggi dalam Astronomi, terutama untuk aplikasi praktis yang berkaitan dengan ibadah:
 - **Penentuan Waktu Salat:** Waktu-waktu salat dalam Islam secara fundamental ditentukan oleh posisi Matahari relatif terhadap horison pengamat. Misalnya, waktu Subuh dan Isya terkait dengan ketinggian (altitude negatif) Matahari di bawah horison sebelum terbit dan setelah terbenam. Waktu Zuhur berkaitan dengan saat Matahari melewati meridian lokal (kulminasi atas), dan waktu Asar ditentukan berdasarkan panjang bayangan Matahari, yang juga merupakan fungsi dari altitude Matahari.⁴⁰ Pengamatan langsung terhadap fenomena ini adalah dasar dari penentuan waktu salat secara tradisional.
 - **Penentuan Arah Kiblat:** Arah Kiblat, yaitu arah menuju Kakbah di Mekah,

adalah sebuah azimuth tertentu dari lokasi pengamat. Metode tradisional seperti *rashdul qiblah* (pengamatan bayangan Matahari ketika Matahari tepat di atas Kakbah) secara langsung menggunakan konsep azimuth Matahari untuk menentukan arah Kiblat.⁴⁰ Perhitungan modern arah Kiblat juga menghasilkan nilai azimuth yang harus diterapkan secara lokal.

- **Observasi Hilal (Rukyatul Hilal):** Pengamatan hilal (bulan sabit muda pertama) untuk menentukan awal bulan dalam kalender Hijriah dilakukan sesaat setelah Matahari terbenam. Posisi hilal, yaitu altitude-nya di atas horison dan azimuth-nya relatif terhadap titik Matahari terbenam, sangat krusial untuk menentukan visibilitasnya.⁴⁰ Kriteria visibilitas hilal seringkali melibatkan parameter altitude dan beda azimuth antara Bulan dan Matahari.
- **Penggunaan dalam Instrumen Astronomi Islam:** Berbagai instrumen astronomi yang dikembangkan dan digunakan secara luas pada masa kejayaan Islam, seperti astrolab, kuadran, dan sekstan, seringkali dirancang untuk mengukur atau merepresentasikan altitude dan azimuth benda-benda langit.⁴² Astrolab, misalnya, menggunakan proyeksi stereografis untuk memetakan langit pada sebuah pelat datar, yang memungkinkan pengguna untuk menentukan waktu berdasarkan altitude Matahari atau bintang, atau sebaliknya, menemukan posisi benda langit pada waktu tertentu.
- **Diagram Sistem Koordinat Horisontal:** Diagram berikut mengilustrasikan komponen-komponen utama sistem koordinat horisontal. (Deskripsi untuk diagram: Sebuah diagram yang menunjukkan seorang pengamat di pusat, dengan bidang horison yang datar. Titik Zenit berada tepat di atas pengamat, dan Nadir di bawahnya. Lingkaran-lingkaran vertikal digambarkan dari Zenit ke Horison. Sebuah benda langit (misalnya bintang X) ditunjukkan posisinya dengan sudut Altitude (h) yang diukur dari horison ke atas sepanjang lingkaran vertikal yang melalui X, dan sudut Azimut (A) yang diukur sepanjang horison dari titik Utara ke arah Timur hingga ke kaki lingkaran vertikal yang melalui X. Titik-titik kardinal Utara, Timur, Selatan, Barat juga ditunjukkan pada horison)..¹⁸

Sistem koordinat horisontal, meskipun memiliki keterbatasan dalam hal universalitas dan stabilitas, tetap menjadi jembatan fundamental antara pengamat di Bumi dan fenomena langit yang teramati. Relevansinya dalam aplikasi praktis sehari-hari, terutama dalam konteks Astronomi untuk pelaksanaan ibadah, tidak dapat diabaikan dan telah mendorong pengembangan instrumen serta metode observasi yang canggih sepanjang sejarah.

3.1.3 Sistem Koordinat Ekuatorial (Asensio Rekta & Deklinasi)

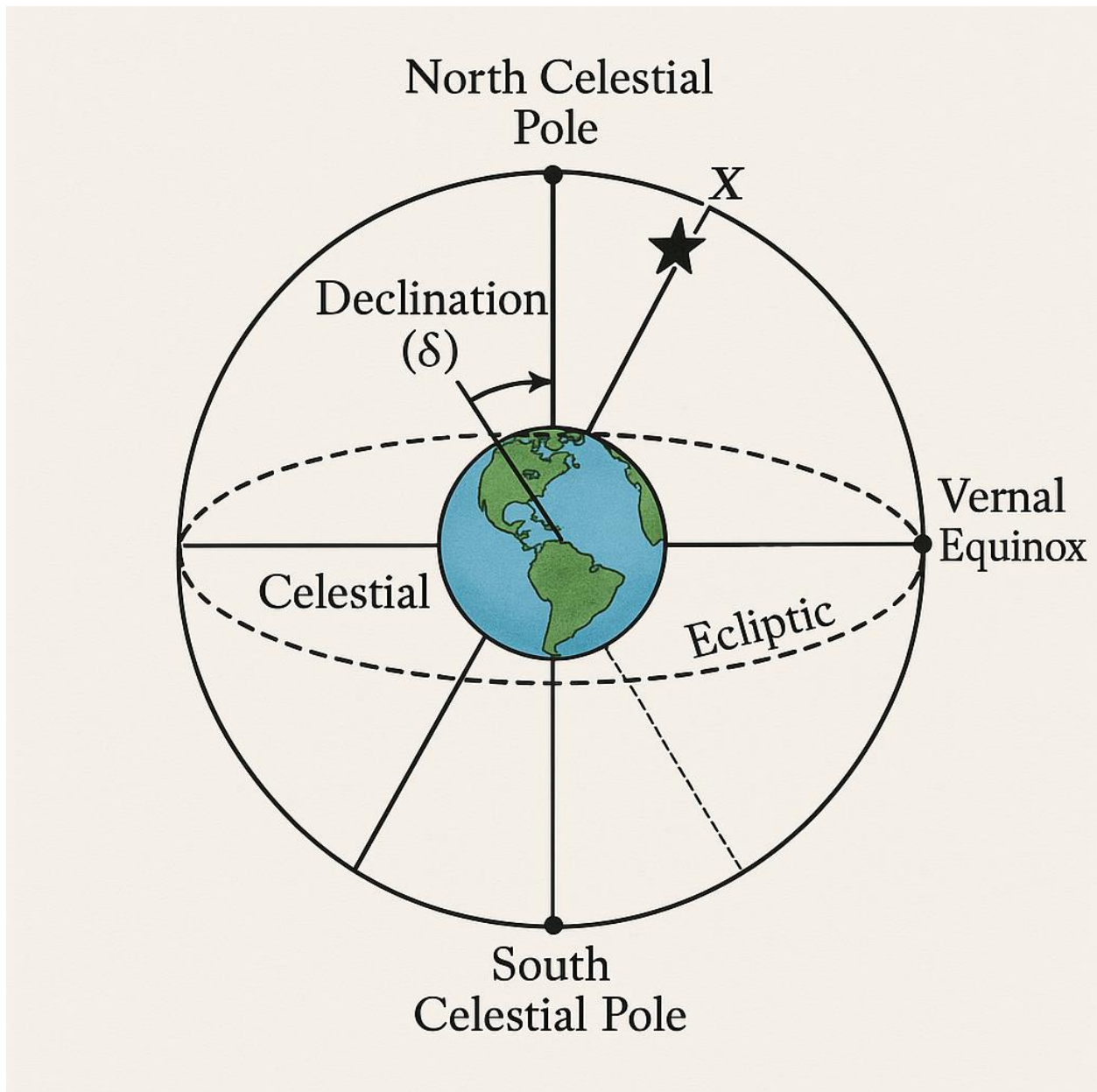
Untuk mengatasi keterbatasan sistem koordinat horisontal yang bergantung pada lokasi dan waktu pengamat, para astronom mengembangkan sistem koordinat ekuatorial. Sistem ini menyediakan kerangka acuan yang relatif tetap terhadap bintang-bintang, sehingga posisi sebuah objek langit dapat ditentukan secara unik dan universal, terlepas dari lokasi atau waktu pengamatan di Bumi (setelah memperhitungkan efek presesi). Sistem ini analog dengan sistem lintang dan bujur yang digunakan untuk menentukan lokasi di permukaan Bumi.

- **Definisi Deklinasi (Declination, δ atau Dec):** Deklinasi adalah jarak sudut sebuah objek langit yang diukur di utara atau selatan ekuator langit. Nilainya diukur dalam derajat ($^{\circ}$), menit busur ($'$), dan detik busur ($''$). Ekuator langit memiliki deklinasi 0° . Objek di belahan langit utara memiliki deklinasi positif (0° hingga $+90^{\circ}$ di Kutub Langit Utara), sedangkan objek di belahan langit selatan memiliki deklinasi negatif (0° hingga -90° di Kutub Langit Selatan). Deklinasi analog dengan lintang geografis di Bumi.¹¹
- **Definisi Asensio Rekta (Right Ascension, α atau RA):** Asensio Rekta adalah jarak sudut sebuah objek langit yang diukur ke arah timur sepanjang ekuator langit, dimulai dari titik referensi fundamental yang disebut Titik Aries (atau Vernal Equinox). Asensio Rekta analog dengan bujur geografis, namun secara tradisional diukur dalam satuan waktu: jam (h), menit (m), dan detik (s). Satu putaran penuh (360°) dibagi menjadi 24 jam Asensio Rekta, sehingga 1 jam RA setara dengan 15° busur ($360^{\circ} / 24 \text{ jam} = 15^{\circ}/\text{jam}$). Rentang nilai Asensio Rekta adalah dari 0h hingga 24h.¹¹
- **Titik Referensi Fundamental:**
 - **Ekuator Langit:** Sebagaimana telah dijelaskan, ekuator langit adalah proyeksi ekuator Bumi ke bola langit dan berfungsi sebagai lingkaran dasar (0°) untuk pengukuran Deklinasi.¹⁵
 - **Titik Aries (Vernal Equinox, Υ):** Ini adalah titik perpotongan antara bidang ekliptika (jalur semu tahunan Matahari) dan ekuator langit, di mana Matahari tampak melintasi ekuator langit dari belahan selatan ke belahan utara. Peristiwa ini terjadi sekitar tanggal 21 Maret setiap tahun dan menandai awal musim semi di belahan Bumi utara. Titik Aries ditetapkan sebagai titik nol (0h) untuk pengukuran Asensio Rekta.¹⁵
- **Presesi Ekuinoks dan Epoch Standar:**
 - **Presesi Ekuinoks:** Sumbu rotasi Bumi tidak tetap arahnya di ruang angkasa, melainkan mengalami pergeseran lambat yang disebut presesi, mirip dengan gerakan gasing yang melambat. Periode presesi ini sekitar 25,800 hingga

26,000 tahun.⁶⁷ Akibat presesi, posisi ekuator langit relatif terhadap ekliptika berubah, yang menyebabkan Titik Aries juga bergeser perlahan ke arah barat sepanjang ekliptika dengan laju sekitar 50.3 detik busur per tahun.⁶¹ Pergeseran Titik Aries ini mengakibatkan koordinat Asensio Rekta dan Deklinasi bintang-bintang (yang dianggap "tetap") berubah secara perlahan seiring waktu.

- **Epoch Standar:** Untuk mengatasi efek presesi dan memastikan konsistensi dalam katalog bintang dan perhitungan astronomi, koordinat ekuatorial biasanya dirujuk ke suatu **epoch** standar, yaitu suatu momen waktu tertentu. Dengan merujuk semua posisi ke epoch yang sama, perbandingan dan perhitungan dapat dilakukan secara akurat. Epoch standar yang umum digunakan saat ini adalah **J2000.0**, yang merujuk pada posisi ekuator dan ekuinoks pada tanggal 1 Januari 2000, pukul 12:00 TT (Terrestrial Time).⁶⁹ Epoch standar sebelumnya yang sering digunakan adalah B1950.0 (berdasarkan tahun Besselian 1950.0).
- **ICRS (International Celestial Reference System):** ICRS adalah sistem referensi langit fundamental yang diadopsi oleh International Astronomical Union (IAU). ICRS didefinisikan oleh posisi sejumlah besar sumber radio ekstragalaktik yang sangat jauh (quasar), yang dianggap quasifixed di alam semesta. Sumbu-sumbu ICRS sangat dekat dengan sumbu-sumbu yang didefinisikan oleh ekuator dan ekuinoks rata-rata pada epoch J2000.0, namun ICRS lebih fundamental dan stabil karena tidak bergantung pada dinamika sistem Bumi-Bulan.¹⁵ Untuk sebagian besar aplikasi praktis, koordinat J2000.0 dapat dianggap sebagai realisasi dari ICRS.
- **Kelebihan:**
 - **Universalitas dan Stabilitas (Relatif):** Setelah dikoreksi untuk efek presesi ke suatu epoch standar, koordinat RA dan Deklinasi sebuah bintang atau objek jauh lainnya bersifat tetap dan tidak bergantung pada lokasi atau waktu pengamatan pengamat di Bumi.³⁵ Ini menjadikan sistem ekuatorial ideal untuk membuat katalog bintang universal dan untuk komunikasi data posisi antar astronom di seluruh dunia.
 - **Pelacakan Teleskop:** Teleskop yang dilengkapi dengan *mounting ekuatorial* dirancang untuk melacak pergerakan semu harian benda langit dengan hanya menggerakkan satu sumbu (sumbu Asensio Rekta) dengan kecepatan konstan, menyederhanakan observasi jangka panjang.
- **Kekurangan:**

- **Kurang Intuitif secara Lokal:** Bagi pengamat awam, koordinat RA dan Deklinasi tidak secara langsung menunjukkan di mana objek tersebut berada di langit lokal mereka pada waktu tertentu. Diperlukan konversi ke sistem horisontal.³⁵
- **Memerlukan Konversi:** Untuk mengetahui visibilitas (apakah objek berada di atas horison) dan posisi lokal (altitude dan azimuth) sebuah objek dari lokasi tertentu, diperlukan perhitungan transformasi yang melibatkan Waktu Sidereal Lokal (LST) pengamat dan lintang geografisnya.
- **Relevansi dalam Astronomi:**
 - **Instrumen Astronomi Islam Klasik:** Meskipun sistem horisontal dominan untuk aplikasi praktis, beberapa instrumen astronomi Islam, seperti astrolab yang lebih kompleks (misalnya, astrolab universal atau yang dilengkapi dengan pelat untuk berbagai lintang), seringkali menggabungkan proyeksi ekuator langit dan ekliptika. Hal ini memungkinkan pengguna untuk melakukan konversi atau setidaknya memahami hubungan antara sistem koordinat yang berbeda, termasuk elemen-elemen sistem ekuatorial seperti deklinasi bintang dan posisi Matahari di ekliptika.⁵³ Rete pada astrolab, misalnya, memetakan posisi bintang-bintang tetap yang koordinat ekuatorialnya (atau ekliptikanya) diketahui.
 - **Hisab Modern dan Katalog Bintang:** Dalam Astronomi modern, perhitungan posisi Matahari, Bulan, dan planet-planet (hisab) untuk penentuan waktu salat, arah kiblat, dan khususnya prediksi visibilitas hilal, seringkali dimulai dengan data ephemeris. Data ephemeris modern umumnya menyediakan posisi benda langit dalam sistem koordinat ekuatorial (misalnya, ICRS atau J2000.0) atau ekliptika. Katalog bintang yang digunakan sebagai referensi dalam kalibrasi instrumen atau untuk keperluan lain juga berbasis sistem ekuatorial.⁸⁵ Oleh karena itu, pemahaman sistem ekuatorial dan transformasinya menjadi penting.
- **Diagram Sistem Koordinat Ekuatorial:** Diagram berikut mengilustrasikan komponen-komponen utama sistem koordinat ekuatorial.



Gambar Diagram Bola Langit

(Deskripsi untuk diagram: Sebuah diagram bola langit yang menunjukkan Bumi di pusat. Ekuator langit diproyeksikan sebagai lingkaran besar. Kutub Langit Utara dan Selatan ditandai. Titik Aries (Vernal Equinox) ditunjukkan sebagai titik perpotongan antara ekuator langit dan ekliptika. Untuk sebuah bintang X, Deklinasi (δ) diukur sebagai sudut dari ekuator langit ke bintang X sepanjang lingkaran jam yang melalui X. Asensio Rekta (α) diukur ke arah timur sepanjang ekuator langit dari Titik Aries hingga ke lingkaran jam bintang X.).¹¹

Sistem koordinat ekuatorial, meskipun memerlukan pemahaman konseptual yang lebih

mendalam dibandingkan sistem horisontal, merupakan tulang punggung astronomi posisi, baik dalam konteks historis maupun modern. Kemampuannya menyediakan kerangka acuan yang stabil (relatif terhadap bintang-bintang jauh, setelah dikoreksi untuk presesi) sangat fundamental untuk memetakan alam semesta secara konsisten dan universal. Fenomena presesi ekuinoks sendiri adalah pengingat penting bahwa bahkan kerangka acuan yang dianggap "tetap" pun memiliki dinamika jangka panjang yang harus diperhitungkan untuk mencapai tingkat akurasi tertinggi dalam pengukuran astronomi.

3.1.4 Sistem Koordinat Ekliptika

Sistem koordinat ekliptika adalah sistem referensi langit lainnya yang sangat penting, terutama untuk mempelajari objek-objek dalam Tata Surya. Sistem ini menggunakan bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari, yang dikenal sebagai ekliptika, sebagai bidang fundamentalnya.

- **Definisi Bujur Ekliptika (Ecliptic Longitude, λ) dan Lintang Ekliptika (Ecliptic Latitude, β):**
 - **Bujur Ekliptika (λ):** Adalah jarak sudut sebuah objek yang diukur ke arah timur sepanjang lingkaran ekliptika, dimulai dari Titik Aries (Vernal Equinox). Nilainya berkisar dari 0° hingga 360° .⁶² Bujur ekliptika Matahari selalu meningkat seiring berjalannya waktu dalam satu tahun.
 - **Lintang Ekliptika (β):** Adalah jarak sudut sebuah objek di utara atau selatan bidang ekliptika. Diukur dari 0° di bidang ekliptika hingga $+90^\circ$ di Kutub Ekliptika Utara dan -90° di Kutub Ekliptika Selatan.⁶² Karena Matahari selalu bergerak di sepanjang ekliptika (sesuai definisi), lintang ekliptika Matahari selalu (atau sangat dekat dengan) 0° .
- **Bidang Referensi (Ekliptika) dan Titik Referensi (Titik Aries):**
 - **Bidang Ekliptika:** Ini adalah bidang fundamental dari sistem koordinat ekliptika. Secara geometris, ini adalah bidang yang mengandung orbit Bumi mengelilingi Matahari. Dari perspektif pengamat di Bumi, ekliptika adalah jalur semu tahunan yang dilalui Matahari melintasi bola langit relatif terhadap bintang-bintang.⁹¹
 - **Titik Aries (Υ):** Titik Aries, atau Vernal Equinox, berfungsi sebagai titik nol (0°) untuk pengukuran bujur ekliptika. Ini adalah titik di mana ekliptika memotong ekuator langit, dan Matahari melintasinya dari selatan ke utara.⁹¹
- **Kutub-Kutub Ekliptika dan Obliquititas Ekliptika (Kemiringan Sumbu Bumi):**
 - **Kutub Ekliptika Utara dan Selatan:** Ini adalah dua titik di bola langit yang masing-masing berada 90° dari bidang ekliptika. Kutub Ekliptika Utara terletak

di konstelasi Draco, sedangkan Kutub Ekliptika Selatan berada di konstelasi Dorado.¹⁰³ Sumbu yang menghubungkan kedua kutub ini tegak lurus terhadap bidang ekliptika.

- **Obliquitas Ekliptika (ϵ):** Ini adalah sudut kemiringan antara bidang ekuator Bumi (dan ekuator langit) dengan bidang ekliptika. Nilainya saat ini sekitar 23.4° hingga 23.5° .¹⁵ Obliquitas ekliptika inilah yang menjadi penyebab utama terjadinya perubahan musim di Bumi, karena belahan Bumi yang berbeda menerima intensitas sinar Matahari yang berbeda sepanjang tahun.
- **Relevansi Utama:**
 - **Objek Tata Surya:** Sistem koordinat ekliptika sangat berguna untuk merepresentasikan posisi dan orbit planet-planet, asteroid, komet, dan objek Tata Surya lainnya. Hal ini dikarenakan sebagian besar objek Tata Surya memiliki orbit yang terletak sangat dekat dengan bidang ekliptika (memiliki inklinasi orbital yang kecil terhadap ekliptika).³⁹
 - **Gerak Tahunan Matahari dan Fase Bulan:** Posisi Matahari sepanjang ekliptika (bujur ekliptiknya) secara langsung menentukan perubahan musim dan merupakan dasar bagi banyak kalender matahari. Fase-fase Bulan ditentukan oleh posisi relatif Bulan terhadap Matahari, yang juga sering dianalisis dalam kerangka koordinat ekliptika.⁸⁹
- **Peran dalam Astronomi:** Sistem koordinat ekliptika memegang peranan sangat penting dalam Astronomi, khususnya untuk perhitungan yang berkaitan dengan Matahari dan Bulan:
 - **Perhitungan Posisi Matahari dan Bulan (Hisab):** Dalam banyak metode hisab (perhitungan astronomis) dalam Astronomi, baik klasik maupun modern, posisi Matahari (*syams*) dan Bulan (*qamar*) seringkali dihitung atau ditabulasikan dalam koordinat ekliptika (bujur dan lintang ekliptika). Data ephemeris modern juga sering menyediakan posisi dalam sistem ini atau dapat dengan mudah dikonversi ke dalamnya.⁵⁴
 - **ijtimak (Konjungsi) dan Elongasi:** **ijtimak**, atau konjungsi geosentris, adalah momen ketika Matahari dan Bulan memiliki bujur ekliptika yang sama jika diamati dari pusat Bumi.⁹¹ Momen **ijtimak** menandai akhir dari satu siklus sinodis Bulan dan awal dari siklus berikutnya, dan merupakan prasyarat untuk kemungkinan terlihatnya hilal. **Elongasi** adalah perbedaan bujur ekliptika antara Matahari dan Bulan ($\lambda_{\text{Bulan}} - \lambda_{\text{Matahari}}$).⁸⁹ Elongasi merupakan parameter kunci dalam menentukan ketebalan sabit Bulan dan, akibatnya, visibilitas hilal. Semakin besar elongasi pada saat Matahari terbenam, semakin tebal sabit Bulan dan semakin mudah terlihat.

- **Kalender Hijriah dan Rukyatul Hilal:** Penentuan awal bulan dalam kalender Hijriah secara tradisional didasarkan pada rukyatul hilal (pengamatan visual bulan sabit pertama setelah ijtimak). Perhitungan hisab modern untuk memprediksi visibilitas hilal sangat bergantung pada penentuan posisi Bulan dan Matahari yang akurat dalam koordinat ekliptika (atau ekuatorial yang kemudian ditransformasi). Parameter seperti ijtimak dan elongasi, yang dihitung berdasarkan bujur ekliptika, adalah input fundamental untuk berbagai kriteria visibilitas hilal.¹¹⁰
- **Diagram Sistem Koordinat Ekliptika:** Diagram berikut mengilustrasikan komponen-komponen utama sistem koordinat ekliptika dan hubungannya dengan sistem ekuatorial.
(Deskripsi untuk diagram: Sebuah diagram bola langit yang menunjukkan ekuator langit dan bidang ekliptika yang berpotongan padanya di Titik Aries (Υ) dan Titik Libra (Ω). Sudut antara ekuator langit dan ekliptika ditandai sebagai obliquitas ekliptika (ϵ). Kutub Langit Utara (KLU) dan Kutub Ekliptika Utara (KEU) ditunjukkan. Untuk sebuah bintang X, Lintang Ekliptika (β) diukur sebagai sudut dari bidang ekliptika ke bintang X, dan Bujur Ekliptika (λ) diukur ke arah timur sepanjang ekliptika dari Titik Aries hingga ke lingkaran lintang yang melalui X.).⁹¹

Sistem koordinat ekliptika dapat dianggap sebagai sistem koordinat "alami" untuk Tata Surya karena pergerakan Matahari, Bulan, dan planet-planet paling mudah dideskripsikan dalam kerangka acuan ini. Oleh karena itu, ia menjadi dasar penting tidak hanya untuk pemahaman dinamika Tata Surya tetapi juga untuk aplikasi praktis seperti penyusunan kalender (baik kalender matahari maupun kalender bulan) dan pelaksanaan praktik-praktik keagamaan yang terkait erat dengan siklus Matahari dan Bulan, sebagaimana yang sangat relevan dalam Astronomi.

3.1.5 Transformasi Antar Sistem Koordinat

Dalam praktik astronomi, seringkali diperlukan kemampuan untuk mengubah representasi posisi sebuah benda langit dari satu sistem koordinat ke sistem koordinat lainnya. Misalnya, katalog bintang umumnya menyediakan posisi dalam sistem ekuatorial (RA dan Deklinasi), namun untuk melakukan pengamatan dari lokasi tertentu di Bumi, seorang astronom perlu mengetahui posisi objek tersebut dalam sistem horisontal (Altitude dan Azimut) pada waktu pengamatan. Demikian pula, posisi Matahari atau Bulan yang mungkin dihitung dalam sistem ekliptika perlu dikonversi ke sistem horisontal untuk menentukan waktu salat atau visibilitas hilal. Proses konversi ini dikenal sebagai transformasi koordinat.⁶

- **Pentingnya Transformasi Koordinat:** Transformasi koordinat memungkinkan astronom dan praktisi Astronomi untuk:
 - Menghubungkan data dari katalog bintang (biasanya dalam koordinat ekuatorial) dengan pengamatan aktual di langit lokal (koordinat horisontal).
 - Memprediksi kapan dan di mana sebuah objek langit akan terlihat dari lokasi tertentu.
 - Menghitung parameter-parameter penting untuk aplikasi Astronomi, seperti posisi Matahari untuk waktu salat (transformasi dari ekuatorial/ekliptika ke horisontal) atau posisi Bulan relatif terhadap Matahari untuk prediksi hilal.
 - Memahami hubungan geometris antara berbagai kerangka acuan yang digunakan dalam astronomi.
- **Prinsip Dasar Trigonometri Sferis:** Transformasi antar sistem koordinat langit yang berbeda pada dasarnya melibatkan rotasi bola langit dan diselesaikan menggunakan rumus-rumus dari trigonometri sferis. Konsep kunci dalam trigonometri sferis adalah segitiga bola, yaitu segitiga yang dibentuk oleh perpotongan tiga busur lingkaran besar pada permukaan bola. Rumus-rumus dasar seperti aturan sinus untuk segitiga bola dan aturan cosinus untuk segitiga bola menjadi alat matematis utama untuk melakukan transformasi ini.¹³⁰
- **Rumus Transformasi Umum:**
 - **Ekuatorial (RA, Dec) ke Horisontal (Alt, Az) dan sebaliknya:** Transformasi ini adalah salah satu yang paling sering digunakan dalam astronomi praktis. Untuk mengubah koordinat ekuatorial (α , δ) menjadi koordinat horisontal (A , h), diperlukan informasi mengenai lintang geografis pengamat (ϕ) dan Waktu Sidereal Lokal (LST) pada saat pengamatan. Waktu Sidereal Lokal dapat dihitung dari Waktu Universal (UT) dan bujur geografis pengamat. Sudut Jam (Hour Angle, HA) objek, yang didefinisikan sebagai $HA = LST - \alpha$, juga merupakan parameter kunci dalam transformasi ini. Rumus umum (aturan cosinus pada segitiga bola PZX, di mana P adalah kutub langit, Z adalah zenit, dan X adalah objek):

$$\sin(h) = \sin(\phi)\sin(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(HA)$$

$$\cos(A) = \cos(h)\cos(\phi)\sin(\delta) - \sin(h)\sin(\phi)\sin(A) = \cos(h) - \cos(\delta)\sin(HA)$$

Perlu kehati-hatian dalam menentukan kuadran Azimut (A) menggunakan fungsi atan2 jika hanya menggunakan rumus $\cos(A)$ atau $\sin(A)$ saja.¹³⁰
 - **Ekuatorial (RA, Dec) ke Ekliptika (λ , β) dan sebaliknya:** Transformasi antara sistem ekuatorial dan ekliptika melibatkan rotasi sebesar sudut kemiringan

ekliptika (obliquitas ekliptika, $\epsilon \approx 23.4^\circ$).

-
- Dari Ekuatorial (α, δ) ke Ekliptika (λ, β):

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \cos(\epsilon) - \cos(\delta) \sin(\epsilon) \sin(\alpha)$$

$$\cos(\lambda) \cos(\beta) = \cos(\delta) \cos(\alpha)$$

$$\sin(\lambda) \cos(\beta) = \sin(\delta) \sin(\epsilon) + \cos(\delta) \cos(\epsilon) \sin(\alpha)$$

Dari Ekliptika (λ, β) ke Ekuatorial (α, δ):

$$\sin(\delta) = \sin(\beta) \cos(\epsilon) + \cos(\beta) \sin(\epsilon) \sin(\lambda)$$

$$\cos(\alpha) \cos(\delta) = \cos(\beta) \cos(\lambda)$$

$$\sin(\alpha) \cos(\delta) = \cos(\beta) \sin(\epsilon) \sin(\lambda) - \sin(\beta) \sin(\epsilon)$$

(Catatan: Rumus-rumus ini adalah bentuk umum; penyelesaian untuk λ dan α biasanya menggunakan fungsi atan2 untuk menentukan kuadran yang benar).⁸⁷ Algoritma yang lebih detail sering merujuk pada karya Jean Meeus.

- **Horisontal ke Ekliptika:** Transformasi ini biasanya tidak dilakukan secara langsung, melainkan melalui sistem ekuatorial sebagai perantara: Horisontal $\rightarrow$ Ekuatorial $\rightarrow$ Ekliptika, atau sebaliknya.
- **Peran Presesi dan Nutasi dalam Transformasi Akurat:** Untuk perhitungan astronomi dengan presisi tinggi, terutama jika melibatkan rentang waktu yang panjang atau perbandingan data dari epoch yang berbeda, efek presesi ekuinoks dan nutasi (osilasi kecil sumbu rotasi Bumi) perlu diperhitungkan. Presesi mengubah orientasi ekuator langit dan Titik Aries dari waktu ke waktu, sehingga transformasi koordinat harus merujuk pada epoch yang sama atau menyertakan koreksi untuk perbedaan epoch.⁶⁷
- **Aplikasi dalam Astronomi:** Transformasi koordinat adalah inti dari banyak perhitungan dalam Astronomi modern (hisab).
 - **Waktu Salat:** Data posisi Matahari dari ephemeris (biasanya dalam koordinat ekuatorial atau ekliptika) perlu ditransformasikan ke sistem horisontal (altitude dan azimuth) untuk lokasi dan waktu tertentu guna menentukan kapan Matahari mencapai posisi-posisi kunci yang menandai waktu salat (misalnya, tergelincir dari zenit untuk Zuhur, mencapai ketinggian tertentu di bawah horison untuk Subuh dan Isya).³⁴
 - **Arah Kiblat:** Perhitungan arah Kiblat melibatkan penentuan azimuth Kakbah dari lokasi pengamat, yang merupakan aplikasi langsung dari trigonometri sferis pada koordinat geografis Bumi, yang dapat dipandang sebagai sistem

koordinat bola.

- **Prediksi Visibilitas Hilal:** Posisi Bulan dan Matahari (seringkali dihitung dalam koordinat ekliptika atau ekuatorial) harus ditransformasikan ke sistem horisontal pada saat Matahari terbenam untuk menentukan parameter visibilitas hilal seperti altitude Bulan, beda altitude Bulan-Matahari (arc of vision), dan beda azimuth Bulan-Matahari.⁶

Transformasi koordinat adalah "mesin" matematis yang esensial dalam astronomi. Ia memungkinkan para astronom dan praktisi Astronomi untuk berpindah antar perspektif dan kerangka acuan yang berbeda, menghubungkan data katalog universal dengan pengamatan lokal yang spesifik waktu dan tempat. Akurasi dari transformasi ini, termasuk koreksi untuk fenomena seperti presesi dan nutasi, sangat krusial untuk menghasilkan perhitungan astronomi yang presisi dan andal, baik untuk penelitian ilmiah maupun untuk aplikasi praktis dalam kehidupan sehari-hari dan praktik keagamaan.

3.1.6 Tabel Perbandingan Sistem Koordinat Langit

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbedaan dan kegunaan masing-masing sistem koordinat langit yang telah dibahas, tabel berikut merangkum fitur-fitur utamanya:

Fitur	Sistem Koordinat Horisontal (Alt-Azimut)	Sistem Koordinat Ekuatorial (RA-Deklinasi)	Sistem Koordinat Ekliptika (Bujur-Lintang Ekliptika)
Koordinat Utama	Altitude (Ketinggian, h), Azimut (A)	Asensio Rekta (RA , α), Deklinasi (Dec , δ)	Bujur Ekliptika (λ), Lintang Ekliptika (β)
Bidang Fundamental	Horison Lokal Pengamat	Ekuator Langit	Ekliptika (Bidang Orbit Bumi)
Titik Referensi (Untuk Longitude/Azimut)	Titik Utara (atau Selatan) di Horison	Titik Aries (Vernal Equinox)	Titik Aries (Vernal Equinox)
Ketergantungan	Ya (Bergantung pada)	Tidak (Relatif tetap)	Tidak (Relatif tetap)

pada Pengamat	Lintang, Bujur, dan Waktu Pengamat)	terhadap bintang setelah koreksi presesi)	terhadap bintang setelah koreksi presesi)
Ketergantungan pada Waktu	Ya (Berubah dengan rotasi Bumi/gerak semu harian)	Tidak untuk bintang (setelah koreksi presesi), Ya untuk objek Tata Surya	Tidak untuk bintang (setelah koreksi presesi), Ya untuk objek Tata Surya
Kelebihan Utama	Intuitif, mudah divisualisasikan secara lokal, praktis untuk pengarahannya teleskop alt-azimut ²⁴	Universal, koordinat bintang relatif tetap, cocok untuk katalog bintang, memudahkan pelacakan dengan teleskop ekuatorial ⁷³	Alami untuk objek Tata Surya, dasar untuk kalender dan pemahaman musim ⁹¹
Kekurangan Utama	Tidak universal, koordinat berubah terus-menerus, tidak cocok untuk katalog ²⁴	Kurang intuitif secara lokal, memerlukan konversi untuk pengamatan visual ³⁹	Kurang umum digunakan untuk objek di luar Tata Surya, memerlukan konversi untuk pengamatan lokal
Relevansi dalam Astronomi	Penentuan waktu salat (posisi Matahari), arah Kiblat (azimut), observasi hilal (posisi Bulan & Matahari relatif terhadap horison) ⁴⁰	Digunakan dalam hisab modern (data ephemeris), dasar untuk instrumen astronomi Islam klasik (misalnya astrolab) ⁸⁶	Perhitungan posisi Matahari & Bulan (ijtimak, elongasi), dasar kalender Hijriah, prediksi visibilitas hilal ¹¹¹
Satuan Umum	Derajat (Altitude & Azimut)	Jam, Menit, Detik (RA); Derajat, Menit Busur, Detik Busur (Dec) ⁶²	Derajat (Bujur & Lintang Ekliptika)

Tabel perbandingan ini mengkonsolidasikan informasi kunci mengenai ketiga sistem koordinat utama, memungkinkan pembaca untuk dengan cepat memahami perbedaan fundamental dalam karakteristik dan aplikasi masing-masing sistem. Penyertaan

relevansi dalam Astronomi secara eksplisit menghubungkan konsep-konsep astronomi umum ini dengan aplikasi praktis dalam tradisi Islam, yang merupakan aspek penting dari kebutuhan pemahaman yang komprehensif.

3.2 Konsep Waktu dalam Astronomi

Selain sistem koordinat spasial, definisi waktu yang presisi dan beragam adalah pilar fundamental kedua dalam astronomi. Pengukuran waktu yang akurat memungkinkan para ilmuwan untuk melacak pergerakan benda-benda langit, memprediksi peristiwa astronomi seperti gerhana dan transit, mempelajari fenomena transien yang berlangsung singkat, dan memahami evolusi kosmik dalam skala waktu yang sangat panjang.¹ Konsep waktu dalam astronomi telah berevolusi secara signifikan, dari metode awal yang bergantung pada pengamatan langsung gerak semu Matahari hingga standar atomik modern yang sangat presisi.¹⁵² Kebutuhan akan berbagai skala waktu muncul karena aplikasi yang berbeda memerlukan referensi waktu yang sesuai, misalnya waktu sipil untuk kehidupan sehari-hari, waktu yang seragam untuk perhitungan efemeris (tabel posisi benda langit), atau waktu yang terkait langsung dengan rotasi Bumi untuk navigasi dan observasi.¹⁵⁵

3.2.1 Waktu Matahari Sejati (Apparent Solar Time)

Waktu Matahari Sejati, atau *Apparent Solar Time*, adalah konsep waktu yang paling intuitif dan secara historis merupakan dasar dari pengukuran waktu. Ia didefinisikan berdasarkan posisi aktual Matahari di langit sebagaimana diamati dari Bumi. Jam matahari adalah instrumen klasik yang mengukur Waktu Matahari Sejati.¹⁵⁷

- **Hari Matahari Sejati:** Interval waktu antara dua kali transit Matahari secara berturut-turut (kulminasi atas) di meridian lokal pengamat disebut sebagai satu hari Matahari sejati.¹⁵⁷ Durasi hari Matahari sejati ini, sayangnya, tidak konstan sepanjang tahun.
- **Penyebab Non-Uniformitas Waktu Matahari Sejati:** Variasi panjang hari Matahari sejati disebabkan oleh dua faktor utama yang berkaitan dengan orbit Bumi dan orientasinya:
 1. **Kemiringan Sumbu Bumi (Obliquititas Ekliptika):** Sumbu rotasi Bumi miring sekitar 23.4° terhadap bidang orbitnya mengelilingi Matahari (ekliptika). Karena kemiringan ini, proyeksi gerak Matahari sepanjang ekliptika ke ekuator langit (yang relevan untuk pengukuran rotasi Bumi) tidak seragam. Matahari tampak bergerak lebih cepat dalam komponen gerak timur-baratnya di sekitar solstis (titik balik Matahari) dan lebih lambat di sekitar ekuinoks.¹⁵⁷
 2. **Eksentrisitas Orbit Bumi:** Orbit Bumi mengelilingi Matahari bukanlah

lingkaran sempurna, melainkan sedikit elips. Sesuai dengan Hukum Kepler Kedua, Bumi bergerak lebih cepat dalam orbitnya ketika berada paling dekat dengan Matahari (perihelion, sekitar awal Januari) dan bergerak lebih lambat ketika berada paling jauh dari Matahari (aphelion, sekitar awal Juli). Variasi kecepatan orbital Bumi ini menyebabkan kecepatan gerak semu Matahari di langit juga bervariasi sepanjang tahun.¹⁵⁷

- **Relevansi dalam Astronomi Historis:** Dalam konteks Astronomi historis, penentuan waktu-waktu ibadah, khususnya salat, pada masa-masa awal sangat bergantung pada pengamatan langsung posisi Matahari atau panjang bayangan yang dihasilkan oleh Matahari. Metode ini secara esensial menggunakan Waktu Matahari Sejati sebagai acuannya.⁴¹ Sebagai contoh, waktu Zuhur ditentukan ketika Matahari melewati meridian (tengah hari Matahari sejati), dan waktu Asar ditentukan berdasarkan panjang bayangan suatu objek relatif terhadap panjang objek itu sendiri pada saat Matahari masih condong.

Waktu Matahari Sejati, meskipun merupakan konsep waktu paling dasar yang dialami manusia secara langsung melalui pengamatan Matahari, memiliki kelemahan signifikan berupa ketidakseragamannya. Variasi panjang hari Matahari sejati sepanjang tahun menjadikannya kurang praktis ketika standar waktu yang konsisten dan seragam diperlukan untuk keperluan navigasi yang akurat, penelitian ilmiah, dan pengaturan aktivitas dalam masyarakat sipil modern. Ketidakseragaman inilah yang mendorong para astronom dan ilmuwan untuk mengembangkan konsep Waktu Matahari Rata-rata.

3.2.2 Waktu Matahari Rata-rata (Mean Solar Time)

Untuk mengatasi ketidakseragaman Waktu Matahari Sejati, para astronom memperkenalkan konsep Waktu Matahari Rata-rata (*Mean Solar Time*). Ini adalah skala waktu yang lebih seragam dan menjadi dasar bagi waktu sipil yang kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari sebelum adopsi standar waktu atomik yang lebih presisi.

- **Definisi:** Waktu Matahari Rata-rata adalah skala waktu yang didasarkan pada pergerakan sebuah "Matahari rata-rata fiktif". Matahari fiktif ini dibayangkan bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan sepanjang ekuator langit (bukan ekliptika) dan menyelesaikan satu putaran dalam waktu yang sama dengan rata-rata periode orbit Bumi mengelilingi Matahari (satu tahun tropis).¹⁵⁷
- **Matahari Rata-Rata Fiktif (*Fictitious Mean Sun*):** Konsep Matahari rata-rata fiktif ini adalah sebuah abstraksi matematis. Ada dua tahap dalam mendefinisikannya: pertama, sebuah "Matahari dinamis rata-rata" yang bergerak dengan kecepatan rata-rata Matahari sejati di sepanjang ekliptika; kedua,

"Matahari rata-rata" itu sendiri yang bergerak dengan kecepatan konstan di sepanjang ekuator langit, dan bertepatan dengan Matahari dinamis rata-rata saat melewati Titik Aries.¹⁶⁵ Tujuannya adalah untuk menciptakan sebuah referensi gerak Matahari yang benar-benar seragam.

- **Hari Matahari Rata-rata:** Satu hari Matahari rata-rata adalah interval waktu antara dua transit berurutan Matahari rata-rata fiktif di meridian lokal pengamat. Berbeda dengan hari Matahari sejati yang panjangnya bervariasi, panjang hari Matahari rata-rata secara definisi adalah konstan, yaitu 24 jam.¹⁵⁷ Inilah yang menjadi dasar bagi jam sipil kita.
- **Persamaan Waktu (*Equation of Time, ta'dil al-waqt*):** Karena Waktu Matahari Sejati (yang ditunjukkan jam matahari) tidak seragam dan Waktu Matahari Rata-rata (yang ditunjukkan jam mekanik/elektronik ideal) seragam, akan ada selisih antara keduanya sepanjang tahun.
 - **Definisi:** Persamaan Waktu adalah selisih antara Waktu Matahari Sejati dan Waktu Matahari Rata-rata. Secara matematis, sering didefinisikan sebagai: $\text{Persamaan Waktu} = \text{Waktu Matahari Sejati} - \text{Waktu Matahari Rata-rata}$ Sehingga, $\text{Waktu Matahari Rata-rata} = \text{Waktu Matahari Sejati} - \text{Persamaan Waktu}$.¹⁵⁷
 - **Penyebab:** Variasi Persamaan Waktu disebabkan oleh dua faktor utama yang sama dengan penyebab ketidakseragaman Waktu Matahari Sejati: kemiringan sumbu rotasi Bumi (obliquitas ekliptika) dan eksentrisitas orbit Bumi.¹⁶² Masing-masing faktor ini memberikan kontribusi sinusoidal terhadap Persamaan Waktu, dengan periode satu tahun untuk efek eksentrisitas dan setengah tahun untuk efek obliquitas.
 - **Grafik dan Variasi Nilai:** Persamaan Waktu bervariasi secara periodik sepanjang tahun. Nilainya bisa positif (Matahari sejati lebih cepat dari Matahari rata-rata, jam matahari di depan jam biasa) atau negatif (Matahari sejati lebih lambat, jam matahari di belakang jam biasa). Variasi ini dapat mencapai sekitar +16 menit 33 detik (sekitar 3 November) dan -14 menit 6 detik (sekitar 11 Februari). Persamaan Waktu bernilai nol empat kali dalam setahun, yaitu sekitar tanggal 15 April, 13 Juni, 1 September, dan 25 Desember.¹⁶²
- **Penggunaan dalam Sejarah Astronomi Islam (Zij):** Para astronom Muslim pada Abad Pertengahan telah memahami adanya ketidakseragaman gerak semu Matahari. Tabel-tabel astronomi Islam yang komprehensif, yang dikenal sebagai *Zīj*, seringkali menyertakan kolom khusus untuk nilai Persamaan Waktu, yang disebut sebagai *ta'dīl al-waqt* (koreksi waktu) atau *ta'dīl al-ayyām bi layālayhā* (koreksi hari dengan malamnya).¹⁶⁶ Pencantuman nilai koreksi ini menunjukkan

bahwa mereka telah mengembangkan konsep yang analog dengan Waktu Matahari Rata-rata untuk melakukan perhitungan astronomis yang lebih akurat, seperti prediksi posisi planet, waktu terjadinya gerhana, dan kemungkinan untuk penentuan waktu ibadah yang lebih presisi daripada hanya mengandalkan pengamatan langsung yang bisa bervariasi. Analisis terhadap *Zīj al-Sindhind* karya Al-Khwarizmi, misalnya, menunjukkan adanya tabel untuk Persamaan Waktu yang didasarkan pada parameter-parameter Ptolemaik dan hasil observasi kontemporer pada masanya.¹⁸⁶

- **Evolusi menuju Waktu Sipil Standar:** Waktu Matahari Rata-rata lokal (LMT, *Local Mean Time*), yaitu Waktu Matahari Rata-rata yang spesifik untuk bujur geografis tertentu, menjadi dasar bagi waktu sipil di berbagai tempat sebelum adopsi sistem zona waktu standar pada akhir abad ke-19.¹⁵² Pengenalan jam mekanik yang mampu menjaga waktu dengan lebih seragam juga mendorong penggunaan Waktu Matahari Rata-rata.

Waktu Matahari Rata-rata merupakan sebuah abstraksi matematis yang sangat penting. Ia memungkinkan penciptaan skala waktu yang jauh lebih seragam dibandingkan Waktu Matahari Sejati, yang krusial untuk navigasi, ilmu pengetahuan, dan perkembangan masyarakat modern. Persamaan Waktu adalah koreksi matematis yang menjembatani waktu ideal ini dengan waktu yang secara aktual diamati dari pergerakan Matahari. Kehadiran tabel Persamaan Waktu dalam *Zīj-Zīj* astronom Muslim menunjukkan tingkat pemahaman dan sofistikasi yang tinggi dalam mengukur dan memodelkan gerak benda langit, serta upaya mereka untuk mencapai akurasi dalam perhitungan astronomis.

3.2.3 Waktu Universal (Universal Time, UT) dan Skala Waktu Terkait

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan standar waktu global, terutama untuk navigasi, komunikasi, dan penelitian ilmiah, konsep Waktu Universal (UT) dan berbagai skala waktu terkait lainnya dikembangkan. Skala-skala waktu ini bertujuan untuk menyediakan referensi waktu yang lebih presisi dan universal.

- **Waktu Universal (UT):** Secara umum, Waktu Universal adalah istilah yang merujuk pada skala waktu yang didasarkan pada rotasi Bumi. Secara historis dan dalam penggunaan yang kurang presisi, UT sering disamakan dengan Waktu Rata-rata Greenwich (GMT), yaitu Waktu Matahari Rata-rata di meridian nol (Greenwich, Inggris).¹⁸⁸ Namun, untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi, beberapa varian UT didefinisikan:
 - **UT0:** Ini adalah Waktu Universal yang diperoleh langsung dari hasil observasi

astronomis pergerakan bintang-bintang atau sumber radio ekstragalaktik di suatu observatorium tertentu. UTO belum dikoreksi untuk efek pergerakan kutub Bumi (osilasi kecil sumbu rotasi Bumi relatif terhadap permukaan Bumi). Akibatnya, nilai UTO dapat sedikit berbeda antara observatorium yang berbeda.¹⁸⁹

- **UT1:** UT1 adalah UTO yang telah dikoreksi untuk efek pergerakan kutub. Dengan demikian, UT1 merepresentasikan sudut rotasi aktual Bumi relatif terhadap kerangka referensi langit kuasi-inersial dan merupakan bentuk modern dari Waktu Matahari Rata-rata di meridian Greenwich. Meskipun lebih seragam daripada Waktu Matahari Sejati, UT1 tidak sepenuhnya seragam karena kecepatan rotasi Bumi mengalami variasi kecil dan perlambatan jangka panjang akibat gaya pasang surut dan faktor geofisika lainnya.¹⁵¹ UT1 sangat penting untuk navigasi astronomi, geodesi, dan aplikasi yang memerlukan orientasi Bumi yang presisi.
- **UT2:** UT2 adalah UT1 yang dikoreksi lebih lanjut untuk variasi musiman yang teramati dalam kecepatan rotasi Bumi. Namun, skala waktu ini sekarang dianggap usang karena variasi musiman tersebut tidak sepenuhnya dapat diprediksi dan skala waktu atomik menawarkan stabilitas yang jauh lebih tinggi.¹⁸⁹
- **Waktu Universal Terkoordinasi (UTC - Coordinated Universal Time):** UTC adalah standar waktu sipil internasional yang digunakan di seluruh dunia. Ini adalah skala waktu atomik yang sangat presisi dan stabil. Detik UTC didefinisikan berdasarkan transisi atom Cesium-133. Meskipun berbasis atomik, UTC dirancang untuk tetap dekat dengan UT1 (yang berbasis rotasi Bumi). Perbedaan antara UTC dan UT1 dijaga agar tidak melebihi 0.9 detik melalui penambahan atau pengurangan **detik kabisat** (*leap seconds*) secara periodik.¹⁴⁹ UTC didistribusikan secara global melalui sinyal waktu radio dan sistem satelit seperti GPS.
- **Perbedaan GMT dan UTC:** Greenwich Mean Time (GMT) adalah pendahulu historis dari UT dan UTC. Awalnya, GMT merujuk pada Waktu Matahari Rata-rata di meridian Greenwich. Sebelum tahun 1925, hari GMT untuk keperluan astronomi dimulai pada tengah hari, bukan tengah malam. Karena ambiguitas historis dan definisinya yang kurang presisi dibandingkan UTC, penggunaan istilah GMT dalam konteks teknis dan ilmiah modern tidak lagi direkomendasikan; UTC adalah standar yang lebih disukai.¹⁸⁸
- **Detik Kabisat (Leap Seconds):** Detik kabisat adalah penyesuaian satu detik yang ditambahkan (atau secara teoretis bisa dikurangkan) ke UTC. Penambahan ini diperlukan karena rotasi Bumi (yang menentukan UT1) secara bertahap melambat

relatif terhadap waktu atomik (yang menentukan UTC). Tanpa detik kabisat, UTC akan semakin menjauh dari waktu Matahari rata-rata. International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) bertanggung jawab untuk memantau rotasi Bumi dan mengumumkan kapan detik kabisat perlu disisipkan, biasanya pada akhir Juni atau Desember.¹⁶⁶

- **Waktu Atom Internasional (TAI - *Temps Atomique International*):** TAI adalah skala waktu atomik yang kontinu, sangat stabil, dan menjadi dasar untuk UTC. TAI merupakan rata-rata tertimbang dari ratusan jam atom yang dioperasikan oleh berbagai laboratorium waktu di seluruh dunia, dan dikoordinasikan oleh Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) di Prancis. TAI tidak memiliki detik kabisat. Hubungan antara UTC dan TAI adalah: $UTC = TAI - n$, di mana n adalah jumlah total detik kabisat yang telah disisipkan sejak TAI dan UTC disinkronkan pada tahun 1958 (dengan offset awal) dan sistem detik kabisat dimulai pada 1972.¹⁵¹
- **Waktu Terrestrial (TT - *Terrestrial Time*) atau *Terrestrial Dynamical Time* (TDT):** TT adalah skala waktu teoretis yang seragam dan merupakan kelanjutan dari Waktu Ephemeris (ET). TT digunakan sebagai argumen waktu independen untuk efemeris geosentris (tabel posisi benda langit sebagaimana terlihat dari Bumi). Satuan TT adalah detik SI. Hubungan TT dengan TAI didefinisikan sebagai: $TT = TAI + 32.184$ detik.¹⁵¹ Offset 32.184 detik ini memastikan kontinuitas dengan skala waktu Ephemeris sebelumnya. TT sangat penting untuk perhitungan posisi astronomi dengan presisi tinggi yang dilakukan dari permukaan Bumi.
- **Waktu Dinamis Barisentrik (TDB - *Barycentric Dynamical Time*) dan Waktu Koordinat Barisentrik (TCB - *Barycentric Coordinate Time*):**
 - **TCB:** Adalah skala waktu koordinat relativistik yang didefinisikan dalam kerangka referensi yang berpusat di barisenter (pusat massa) Tata Surya dan tidak berotasi relatif terhadap alam semesta jauh. TCB dimaksudkan sebagai variabel waktu independen untuk semua perhitungan yang berkaitan dengan orbit planet, asteroid, komet, dan wahana antariksa antarplanet di Tata Surya.¹⁵¹
 - **TDB:** Juga merupakan skala waktu relativistik untuk barisenter Tata Surya. Sejak resolusi IAU tahun 2006, TDB didefinisikan sebagai penskalaan linear dari TCB. Perbedaan utama TDB dari TCB adalah bahwa TDB, ketika diamati dari permukaan Bumi, memiliki perbedaan yang sangat kecil (periodik, kurang dari 2 milidetik) dari Waktu Terrestrial (TT). Ini membuatnya lebih praktis untuk beberapa aplikasi karena kedekatannya dengan TT.¹⁵¹ TDB adalah penerus efektif dari Waktu Ephemeris untuk efemeris planet.
- **Pentingnya Penggunaan Skala Waktu Standar (UTC, TT, TDB) dalam**

Astronomi Modern: Dalam Astronomi kontemporer, terutama untuk perhitungan yang memerlukan akurasi tinggi seperti pembuatan ephemeris presisi untuk Matahari dan Bulan, prediksi visibilitas hilal yang detail, dan sinkronisasi data observasi global, pemahaman dan penggunaan skala waktu standar internasional menjadi sangat penting. Meskipun secara tradisional Astronomi menggunakan waktu lokal berdasarkan pengamatan Matahari, integrasi dengan standar waktu universal seperti UTC, dan skala waktu dinamis seperti TT dan TDB (untuk perhitungan ephemeris fundamental), meningkatkan presisi dan memungkinkan kolaborasi serta pemanfaatan sumber daya astronomi secara lebih luas.¹⁴⁹ Perangkat lunak astronomi modern yang digunakan untuk hisab seringkali mengandalkan skala waktu ini untuk perhitungan internalnya.

Resolusi IAU, seperti yang dijelaskan dalam USNO Circular 179, telah menetapkan kerangka kerja standar untuk sistem referensi astronomi dan skala waktu, yang penting untuk konsistensi global.²¹⁹ Pemahaman akan skala waktu yang beragam ini—dari yang berbasis rotasi Bumi seperti UT1, hingga yang berbasis atomik seperti TAI dan UTC, serta skala waktu dinamis relativistik seperti TT, TCB, dan TDB—menjadi krusial bagi astronom dan praktisi Astronomi modern yang ingin melakukan perhitungan dengan tingkat presisi tertinggi.

3.2.4 Waktu Sidereal (Sidereal Time)

Waktu Sidereal adalah sistem penunjuk waktu yang didasarkan pada rotasi Bumi relatif terhadap bintang-bintang "tetap" di kejauhan, atau lebih tepatnya, relatif terhadap Titik Aries (vernal equinox). Ini berbeda dengan waktu Matahari yang didasarkan pada posisi Matahari. Waktu Sidereal sangat penting bagi para astronom observasional karena secara langsung menunjukkan Asensio Rekta objek-objek langit yang sedang melintasi meridian lokal pengamat.²²¹

- **Definisi Waktu Sidereal (Mean dan Apparent):**

- Waktu Sidereal didefinisikan sebagai sudut jam dari Titik Aries. Sudut jam adalah ukuran seberapa jauh ke arah barat sebuah titik referensi (dalam hal ini Titik Aries) telah bergerak melewati meridian lokal pengamat akibat rotasi Bumi.²²¹
- **Waktu Sidereal Rata-rata (Mean Sidereal Time, MST):** Dihitung menggunakan posisi *ekuinoKs rata-rata* (posisi Titik Aries yang hanya memperhitungkan efek presesi jangka panjang, mengabaikan nutasi).²²¹
- **Waktu Sidereal Tampak (Apparent Sidereal Time, AST):** Dihitung menggunakan posisi *ekuinoKs sejati* (posisi Titik Aries yang memperhitungkan

baik presesi maupun nutasi). Ini adalah waktu sidereal yang paling akurat untuk pengamatan aktual.²²¹

- **Waktu Sidereal Lokal (LST - *Local Sidereal Time*):**

- LST adalah Waktu Sidereal (baik rata-rata maupun tampak) yang diukur relatif terhadap meridian lokal pengamat.²²¹ Dengan kata lain, LST adalah sudut jam Titik Aries untuk lokasi pengamat tersebut.
- LST sama untuk semua lokasi dengan bujur geografis yang sama, tetapi berbeda untuk bujur yang berbeda pada saat yang sama.

- **Hubungan dengan Asensio Rekta (RA):**

- Definisi yang sangat berguna bagi astronom adalah bahwa Waktu Sidereal Lokal (LST) sama dengan Asensio Rekta (RA) sebuah objek langit yang sedang transit (melintasi) meridian lokal pengamat.²²¹
- Secara umum, hubungan antara LST, RA, dan Sudut Jam (HA) sebuah objek adalah: $LST = RA + HA$ atau $HA = LST - RA$. Di mana HA diukur positif ke arah barat dari meridian. Ketika sebuah objek transit meridian, $HA = 0$, sehingga $LST = RA$ objek tersebut.²²²

- **Perbedaan Hari Matahari dan Hari Sidereal:**

- **Hari Matahari (Rata-rata):** Interval waktu antara dua transit berurutan Matahari rata-rata fiktif di meridian lokal, sekitar 24 jam waktu sipil.²²³
- **Hari Sidereal:** Interval waktu antara dua transit berurutan Titik Aries (atau bintang tetap) di meridian lokal. Satu hari sidereal adalah sekitar 23 jam 56 menit 4.091 detik waktu Matahari rata-rata.²²¹
- Perbedaan ini (sekitar 3 menit 56 detik) muncul karena selama Bumi berotasi satu kali penuh relatif terhadap bintang-bintang (satu hari sidereal), Bumi juga bergerak sedikit dalam orbitnya mengelilingi Matahari. Akibatnya, Bumi perlu berputar sedikit lebih lama (sekitar 1°) agar Matahari kembali ke posisi yang sama di langit (satu hari Matahari).²²³ Ini berarti bintang-bintang tampak terbit sekitar 4 menit lebih awal setiap malam jika diukur dengan jam Matahari (sipil).

- **Persamaan Ekuinoks (*Equation of the Equinoxes*):**

- Perbedaan antara Waktu Sidereal Tampak (GAST/LAST) dan Waktu Sidereal Rata-rata (GMST/LMST) disebut Persamaan Ekuinoks. Persamaan Ekuinoks = $GAST - GMST$
- Nilai ini tidak pernah melebihi sekitar 1.2 detik waktu dan disebabkan oleh efek nutasi pada posisi ekuinoks sejati.²²¹

- **Relevansi dalam Astronomi Observasional:**

- LST sangat penting untuk mengarahkan teleskop ke objek langit. Jika seorang astronom mengetahui RA sebuah objek dan LST saat ini, mereka dapat

menghitung Sudut Jam objek tersebut, yang memberi tahu seberapa jauh objek itu dari meridian lokal.

- Observatorium astronomi seringkali memiliki jam sidereal untuk membantu perencanaan dan pelaksanaan observasi.

- **Relevansi dalam Sejarah Astronomi Islam (Penggunaan Astrolab):**

- Astrolab, instrumen astronomi penting dalam peradaban Islam, sering digunakan untuk menentukan waktu (termasuk waktu salat) berdasarkan posisi bintang atau Matahari. Penggunaan astrolab melibatkan pemahaman tentang gerak harian bintang-bintang dan Matahari, yang secara fundamental terkait dengan konsep waktu sidereal dan waktu Matahari. Meskipun mungkin tidak secara eksplisit menggunakan istilah "waktu sidereal" modern, prinsip dasarnya, yaitu hubungan antara posisi bintang, rotasi Bumi, dan waktu, adalah inti dari fungsi astrolab untuk timekeeping.⁵³ Bagian rete pada astrolab yang menunjukkan posisi bintang-bintang tetap secara efektif merepresentasikan peta langit dalam kerangka ekuatorial, dan rotasinya mensimulasikan gerak sidereal.

Pemahaman Waktu Sidereal memungkinkan para astronom untuk memiliki sistem waktu yang sinkron dengan rotasi Bumi relatif terhadap bintang-bintang, yang sangat krusial untuk navigasi langit dan penjadwalan observasi. Meskipun waktu sipil kita didasarkan pada Matahari, alam semesta yang lebih luas "berdetak" menurut waktu sidereal.

3.2.5 Waktu Julian (Julian Date, JD)

Dalam astronomi, seringkali diperlukan cara untuk merekam waktu kejadian atau interval waktu antara kejadian tanpa terbebani oleh kompleksitas kalender (seperti jumlah hari yang berbeda dalam sebulan atau aturan tahun kabisat). Sistem Tanggal Julian (Julian Date, JD) menyediakan solusi untuk ini dengan menghitung hari secara kontinu dari titik awal tertentu di masa lalu.

- **Definisi Tanggal Julian (JD) dan Modified Julian Date (MJD):**

- **Tanggal Julian (JD):** Adalah hitungan kontinu jumlah hari dan pecahan hari yang telah berlalu sejak pukul 12:00 Universal Time (UT) pada tanggal 1 Januari 4713 SM menurut kalender Julian proleptik.¹⁵¹ Hari Julian 0 dimulai pada momen tersebut. Hampir 2.5 juta hari telah berlalu sejak epoch ini. Tanggal Julian sangat berguna karena memudahkan penentuan jumlah hari antara dua kejadian hanya dengan mengurangkan nilai JD keduanya.
- **Modified Julian Date (MJD):** Untuk kenyamanan, terutama dalam aplikasi

modern di mana JD memiliki banyak digit, MJD diperkenalkan. MJD didefinisikan sebagai: $MJD = JD - 2400000.5$ Epoch MJD (MJD 0) adalah pukul 00:00 UT pada tanggal 17 November 1858.¹⁵¹ Pengurangan 0.5 hari juga mengubah titik awal hari dari tengah hari (seperti pada JD) menjadi tengah malam, yang lebih sesuai dengan konvensi waktu sipil.

- **Keunggulan Tanggal Julian dalam Perhitungan Astronomi:**

- **Kontinuitas:** JD menyediakan skala waktu yang kontinu, menghilangkan kerumitan yang terkait dengan bulan yang panjangnya bervariasi, tahun kabisat, dan perubahan sistem kalender (misalnya, dari Julian ke Gregorian).²³⁹
- **Penyederhanaan Perhitungan Interval Waktu:** Menghitung durasi antara dua peristiwa astronomi menjadi operasi pengurangan sederhana antara dua nilai JD.²³⁹
- **Standar Universal:** JD (dan MJD) diterima secara luas sebagai standar dalam astronomi untuk mencatat waktu observasi dan dalam perangkat lunak astronomi untuk perhitungan ephemeris.²⁴⁰
- **Presisi:** Dengan menggunakan representasi floating-point (bilangan real), JD dapat merepresentasikan waktu dengan presisi tinggi (misalnya, hingga mikrodetik dengan variabel double precision).²³⁷

- **Penggunaan dalam Ephemeris dan Perangkat Lunak Astronomi:**

- Ephemeris (tabel posisi benda langit) seringkali menggunakan JD atau MJD sebagai argumen waktu.
- Banyak algoritma dan perangkat lunak astronomi, termasuk yang digunakan dalam Astronomi modern, menggunakan JD sebagai sistem waktu internal untuk perhitungan posisi Matahari, Bulan, dan planet.²⁴²

- **Konversi ke/dari Kalender Gregorian:**

- Terdapat algoritma matematis standar untuk mengkonversi tanggal dalam kalender Gregorian (atau Julian) menjadi JD, dan sebaliknya.²³⁹ Algoritma ini memperhitungkan aturan tahun kabisat dan perubahan dari kalender Julian ke Gregorian pada Oktober 1582 (meskipun tanggal transisi bervariasi di berbagai negara).
- Epoch kalender Islam (1 Muharam 1 H) bertepatan dengan Jumat, 16 Juli 622 M dalam kalender Julian, yang setara dengan JD 1948439.5 (dimulai pukul 00:00) atau JD 1948440 (dimulai tengah hari, tergantung konvensi awal hari).²³⁶ Perhitungan yang lebih presisi oleh para astronom abad pertengahan dan modern menunjukkan tanggal 16 Juli 622 M (kalender Julian) sebagai awal era Islam.²³⁶

- **Penggunaan dalam Astronomi Modern:**

- Perangkat lunak dan algoritma hisab modern sering menggunakan JD sebagai dasar perhitungan waktu internal untuk menentukan ijtimaq, posisi hilal, waktu salat, dan fenomena astronomi lainnya yang relevan dengan praktik keagamaan.¹¹⁶ Penggunaan JD memastikan konsistensi dan akurasi dalam perhitungan yang melibatkan interval waktu yang panjang atau perbandingan dengan data astronomi standar.

Sistem Tanggal Julian, dengan kesederhanaan dan universalitasnya, telah menjadi alat yang sangat diperlukan dalam astronomi. Kemampuannya untuk menyediakan skala waktu yang seragam dan kontinu sangat berharga untuk berbagai macam perhitungan, mulai dari melacak orbit asteroid hingga mempelajari variabilitas bintang dalam jangka waktu berabad-abad, serta menjadi dasar yang kuat untuk perhitungan dalam Astronomi modern.

3.3 Perhitungan Penanggalan dan Konversi Tanggal-Waktu

Sistem penanggalan atau kalender adalah metode terstruktur untuk mengatur periode waktu yang panjang, seperti hari, bulan, dan tahun. Berbagai peradaban telah mengembangkan sistem kalender yang berbeda, umumnya didasarkan pada siklus Matahari (kalender solar), siklus Bulan (kalender lunar), atau kombinasi keduanya (kalender lunisolar). Dalam konteks astronomi dan Astronomi, pemahaman mengenai struktur kalender Gregorian dan Hijriah, serta kemampuan untuk melakukan konversi antar keduanya dan dengan skala waktu astronomi lainnya, sangatlah penting.

3.3.1 Kalender Gregorian

Kalender Gregorian adalah kalender yang paling banyak digunakan di dunia saat ini untuk keperluan sipil. Ini adalah kalender matahari yang merupakan reformasi dari kalender Julian.

- **Struktur Dasar:**

- Satu tahun Gregorian terdiri dari 12 bulan dengan jumlah hari yang bervariasi: Januari (31), Februari (28 atau 29), Maret (31), April (30), Mei (31), Juni (30), Juli (31), Agustus (31), September (30), Oktober (31), November (30), Desember (31).²⁵⁰
- Satu tahun biasa (common year) memiliki 365 hari, sedangkan tahun kabisat (leap year) memiliki 366 hari, dengan penambahan satu hari pada bulan Februari (tanggal 29 Februari).²⁵⁰

- **Aturan Tahun Kabisat:** Aturan untuk menentukan tahun kabisat dalam kalender Gregorian adalah sebagai berikut ²⁵⁰:
 1. Sebuah tahun adalah tahun kabisat jika angkanya habis dibagi 4.
 2. **Kecuali**, jika tahun tersebut habis dibagi 100, maka ia *bukan* tahun kabisat.
 3. **Namun**, jika tahun tersebut juga habis dibagi 400, maka ia *adalah* tahun kabisat. *Contoh:* Tahun 2000 adalah tahun kabisat (habis dibagi 400). Tahun 1900 bukan tahun kabisat (habis dibagi 100 tetapi tidak habis dibagi 400). Tahun 2024 adalah tahun kabisat (habis dibagi 4 dan tidak habis dibagi 100). Tahun 2025 bukan tahun kabisat.

Rata-rata panjang tahun Gregorian adalah 365.2425 hari, yang sangat mendekati panjang tahun tropis rata-rata (sekitar 365.2422 hari), yaitu waktu yang dibutuhkan Bumi untuk kembali ke posisi yang sama dalam siklus musimnya. Akurasi ini dicapai untuk menjaga agar kalender tetap sinkron dengan musim dalam jangka waktu yang sangat lama.

3.3.2 Kalender Hijriah (Islam)

Kalender Hijriah, juga dikenal sebagai kalender Islam, adalah kalender lunar murni yang digunakan oleh umat Islam di seluruh dunia, terutama untuk menentukan hari-hari raya dan waktu ibadah.

- **Struktur Dasar:**
 - Satu tahun Hijriah terdiri dari 12 bulan lunar.²⁴⁴
 - Nama-nama bulan tersebut adalah: Muharam, Safar, Rabiulawal (Rabi' I), Rabiulakhir (Rabi' II), Jumadilawal (Jumada I), Jumadilakhir (Jumada II), Rajab, Syakban, Ramadan, Syawal, Zulkaidah, dan Zulhijah.²⁴⁴
 - Setiap bulan dimulai ketika hilal (bulan sabit muda pertama) terlihat setelah Matahari terbenam, pasca terjadinya ijtimak (konjungsi geosentris Bulan-Matahari).²⁵⁸
 - Panjang setiap bulan adalah 29 atau 30 hari, tergantung pada visibilitas hilal (untuk kalender observasional) atau aturan aritmatika (untuk kalender tabular).²⁴⁴
 - Satu tahun Hijriah biasa memiliki 354 hari, sedangkan tahun kabisat Hijriah (dalam sistem tabular) memiliki 355 hari.
- **Sifat Murni Lunar dan Pergeseran Tahunan:**
 - Kalender Hijriah adalah kalender yang murni berdasarkan siklus sinodis Bulan (waktu dari satu fase Bulan baru ke fase Bulan baru berikutnya, sekitar 29.53 hari). Tidak ada interkalasi (penambahan bulan atau hari) untuk

menyelaraskannya dengan tahun Matahari.²⁵⁸

- Akibatnya, satu tahun Hijriah (sekitar 354.36 hari) kira-kira 10 hingga 12 hari lebih pendek daripada tahun Gregorian (sekitar 365.2425 hari). Perbedaan ini menyebabkan bulan-bulan Hijriah bergeser maju sekitar 11 hari setiap tahunnya relatif terhadap kalender Gregorian dan musim.²⁴⁴ Ini berarti hari-hari besar Islam, seperti Ramadan dan Idul Fitri, akan jatuh pada musim yang berbeda-beda sepanjang siklus sekitar 33 tahun Gregorian.
- **Metode Penentuan Awal Bulan:** Terdapat dua metode utama yang digunakan:
 - **Rukyatul Hilal (Observasional):** Metode tradisional yang didasarkan pada pengamatan langsung hilal dengan mata telanjang (atau dengan bantuan alat optik) pada petang hari ke-29 bulan berjalan. Jika hilal terlihat, maka malam itu adalah awal bulan baru. Jika tidak terlihat (misalnya karena faktor cuaca atau posisi hilal yang terlalu rendah), maka bulan berjalan dikenakan menjadi 30 hari (istikmal).²⁵⁸ Metode ini masih dipegang teguh oleh banyak otoritas keagamaan dan negara Muslim.
 - **Hisab (Kalkulasi Astronomis):** Metode yang menggunakan perhitungan matematis dan astronomis untuk memprediksi posisi Bulan dan Matahari, serta menentukan kapan ijtimaq terjadi dan apakah hilal memenuhi kriteria visibilitas tertentu pada saat Matahari terbenam.¹¹⁶ Hisab modern memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi.
- **Kriteria Visibilitas Hilal:** Karena rukyat dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor (atmosfer, lokasi, kemampuan pengamat), dan untuk memberikan panduan bagi metode hisab, berbagai kriteria visibilitas hilal telah dikembangkan. Kriteria ini biasanya didasarkan pada parameter astronomis seperti:
 - **Altitude (Ketinggian) Hilal:** Jarak sudut hilal di atas horison pada saat Matahari terbenam.
 - **Elongasi:** Jarak sudut antara Bulan dan Matahari.
 - **Umur Bulan:** Waktu yang telah berlalu sejak ijtimaq.
 - Contoh kriteria yang dikenal antara lain **Kriteria MABIMS** (Menteri-Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura) yang telah mengalami pembaruan (sering disebut Neo-MABIMS dengan tinggi minimal 3° dan elongasi minimal 6.4°) dan **Kriteria Wujudul Hilal** (yang mensyaratkan hilal sudah berada di atas ufuk saat Matahari terbenam setelah ijtimaq, tanpa memperhitungkan apakah secara fisik dapat terlihat atau tidak).¹¹⁵ Perbedaan dalam adopsi kriteria ini seringkali menjadi penyebab perbedaan dalam penetapan awal bulan Hijriah di berbagai komunitas Muslim.

- **Kalender Islam Tabular:** Selain kalender observasional, terdapat juga Kalender Islam Tabular yang bersifat aritmatik dan dirancang untuk tujuan sipil atau prediksi jangka panjang, bukan untuk penentuan ibadah secara definitif bagi yang menganut rukyat. Kalender tabular ini menggunakan aturan matematis untuk menentukan panjang bulan secara bergantian (biasanya 29 dan 30 hari) dan menyisipkan tahun kabisat dalam siklus tertentu. Salah satu siklus yang umum adalah **siklus 30 tahun**, di mana terdapat **11 tahun kabisat**.²⁴⁴ Dalam tahun kabisat tabular, satu hari ekstra ditambahkan pada bulan terakhir (Zulhijah), menjadikannya 30 hari. Kalender tabular ini menghasilkan panjang tahun rata-rata yang sangat mendekati periode sinodis Bulan rata-rata, namun tanggalnya mungkin tidak selalu persis sama dengan hasil rukyat.

Pemahaman yang baik tentang kedua sistem kalender ini, Gregorian yang berbasis Matahari dan Hijriah yang berbasis Bulan, serta metode penentuan awal bulan dalam kalender Hijriah, sangat penting dalam konteks astronomi dan aplikasi Astronomi.

3.3.3 Konversi Antara Kalender Gregorian dan Hijriah

Konversi tanggal antara kalender Gregorian dan Hijriah merupakan tugas yang kompleks karena perbedaan mendasar dalam dasar perhitungan kedua kalender tersebut: Gregorian berbasis pergerakan Matahari (solar) dan Hijriah berbasis pergerakan Bulan (lunar).²⁸⁹ Perbedaan utama terletak pada panjang tahun rata-rata, di mana tahun Hijriah sekitar 11 hari lebih pendek dari tahun Gregorian. Hal ini menyebabkan tanggal-tanggal dalam kalender Hijriah bergeser relatif terhadap kalender Gregorian setiap tahunnya.

- **Kompleksitas Konversi:**
 - **Perbedaan Panjang Tahun:** Seperti disebutkan, perbedaan panjang tahun rata-rata (sekitar 365.2425 hari untuk Gregorian dan 354.367 hari untuk Hijriah) adalah faktor utama kompleksitas.²⁸⁹
 - **Metode Penentuan Awal Bulan Hijriah:** Untuk kalender Hijriah observasional, awal bulan bergantung pada rukyatul hilal, yang hasilnya bisa bervariasi tergantung lokasi geografis dan kondisi atmosfer. Ini membuat konversi pasti untuk tanggal di masa depan menjadi sulit dan seringkali bersifat prediktif hingga ada konfirmasi rukyat.²⁵⁸ Bahkan untuk kalender Hijriah berbasis hisab, perbedaan kriteria visibilitas yang digunakan dapat menghasilkan tanggal yang berbeda.
 - **Aturan Tahun Kabisat yang Berbeda:** Kedua kalender memiliki aturan tahun kabisat yang berbeda untuk menjaga sinkronisasi dengan fenomena astronomi

yang mendasarinya (musim untuk Gregorian, fase Bulan untuk Hijriah tabular).

- **Algoritma Konversi:**

- **Formula Aproksimasi:** Terdapat formula sederhana untuk melakukan konversi tahun secara aproksimatif:
 - Dari Hijriah (H) ke Gregorian (G): $G \approx H \times 365.2425354.367 + 621.5643$ atau $G \approx H \times 0.970224 + 621.5643$.²⁹⁰ Variasi lain menggunakan $G \approx H - 33H + 622$.²⁸⁹
 - Dari Gregorian (G) ke Hijriah (H): $H \approx (G - 621.5643) \times 354.367365.2425$ atau $H \approx (G - 621.5643) / 0.970224$.²⁹⁰ Variasi lain menggunakan $H \approx G - 622 + 32G - 622$.²⁸⁹ Formula-formula ini hanya memberikan perkiraan tahun dan tidak akurat untuk konversi tanggal spesifik.
- **Penggunaan Tanggal Julian (Julian Date, JD) sebagai Perantara:** Metode yang paling akurat dan umum digunakan dalam komputasi untuk konversi antar kalender adalah dengan menggunakan Tanggal Julian sebagai sistem perantara. Langkah-langkahnya adalah:
 1. Konversi tanggal awal (Gregorian atau Hijriah) ke nomor Hari Julian (JD).
 2. Konversi nomor Hari Julian (JD) tersebut ke tanggal dalam sistem kalender tujuan. Algoritma untuk konversi antara Gregorian/Julian dan JD telah mapan (misalnya, algoritma Fliegel & Van Flandern).²³⁹ Untuk konversi antara Hijriah dan JD, biasanya digunakan kalender Hijriah tabular (aritmatik) dengan siklus 30 tahun dan aturan tahun kabisat yang telah ditentukan, atau algoritma yang lebih kompleks yang mencoba memodelkan visibilitas hilal.²³⁶
- **Library Perangkat Lunak:** Banyak pustaka perangkat lunak dalam berbagai bahasa pemrograman (misalnya, HijrahDate di Java²⁹⁴, hijridate atau umalqurra di Python²⁹⁵) yang menyediakan fungsi untuk melakukan konversi ini dengan akurasi yang baik, biasanya berdasarkan kalender Ummul Qura Arab Saudi atau varian tabular lainnya.
- **Epoch Kalender Islam:** Titik awal (epoch) kalender Hijriah adalah 1 Muharam tahun 1 Hijriah. Tanggal ini secara umum diterima bertepatan dengan hari Jumat, 16 Juli 622 M dalam kalender Julian.²³⁶ Dalam sistem Tanggal Julian, ini setara dengan JD 1948439.5 (jika hari dimulai pukul 00:00 UT) atau JD 1948440 (jika hari dimulai pukul 12:00 UT).

Konversi tanggal yang akurat antara kalender Gregorian dan Hijriah memerlukan pemahaman mendalam tentang struktur masing-masing kalender dan seringkali penggunaan algoritma komputasi atau pustaka perangkat lunak yang telah teruji, terutama jika presisi tinggi diperlukan atau jika melibatkan kalender Hijriah observasional.

3.3.4 Zona Waktu dan Konversi ke UTC

Dalam astronomi, terutama ketika mengumpulkan dan membandingkan data observasi dari berbagai lokasi di seluruh dunia, atau ketika menggunakan efemeris yang diterbitkan dalam skala waktu standar, pemahaman tentang zona waktu dan konversinya ke Waktu Universal Terkoordinasi (UTC) sangatlah krusial.

- **Definisi Zona Waktu:** Zona waktu adalah wilayah geografis yang mengamati waktu standar yang seragam untuk keperluan hukum, komersial, dan sosial.¹⁹⁵ Secara historis, setiap kota atau daerah memiliki waktu lokalnya sendiri yang didasarkan pada posisi Matahari (Waktu Matahari Lokal). Namun, dengan berkembangnya transportasi dan komunikasi jarak jauh (seperti kereta api dan telegraf) pada abad ke-19, kebutuhan akan standarisasi waktu menjadi mendesak.²²⁸ Hal ini mengarah pada pembentukan sistem zona waktu internasional, yang umumnya diadopsi pada tahun 1884.²²⁸
- **Offset dari UTC:** Setiap zona waktu didefinisikan oleh offsetnya (perbedaan waktu) dari UTC. UTC adalah waktu pada bujur nol derajat (Meridian Utama Greenwich) dan berfungsi sebagai standar waktu global.¹⁹⁵ Offset ini biasanya berupa bilangan bulat jam (misalnya, Waktu Indonesia Barat (WIB) adalah UTC+7 jam, Eastern Standard Time (EST) di Amerika Utara adalah UTC-5 jam). Namun, beberapa zona waktu memiliki offset setengah jam atau bahkan seperempat jam. Offset dapat positif (lebih cepat dari UTC, biasanya untuk lokasi di timur Greenwich) atau negatif (lebih lambat dari UTC, biasanya untuk lokasi di barat Greenwich).
- **Pentingnya Konversi ke UTC dalam Astronomi:**
 - **Standarisasi Data Global:** Pengamatan astronomi dilakukan dari observatorium yang tersebar di seluruh dunia, masing-masing dengan zona waktu lokalnya. Untuk dapat membandingkan data dari berbagai sumber ini tanpa kebingungan atau kesalahan, waktu pengamatan harus direferensikan ke standar waktu yang sama. UTC berfungsi sebagai standar waktu universal ini, menghilangkan ambiguitas yang disebabkan oleh perbedaan waktu lokal dan penerapan *Daylight Saving Time* (DST) atau Waktu Musim Panas.¹⁴⁹
 - **Akurasi Analisis Data:** Ketepatan waktu sangat krusial dalam analisis data astronomi. Perbedaan waktu sekecil apa pun dapat menjadi signifikan, terutama saat mempelajari fenomena dinamis atau transien. Jika data dari berbagai lokasi tidak dikonversi ke UTC, perbandingan dan analisis gabungan dapat menjadi tidak akurat.
 - **Perencanaan Observasi Internasional:** Banyak proyek penelitian astronomi melibatkan kolaborasi antar observatorium di berbagai negara. Untuk

menjadwalkan pengamatan secara simultan atau berurutan, semua pihak harus menggunakan referensi waktu yang sama, yaitu UTC.

- **Publikasi Ilmiah:** Standar dalam publikasi ilmiah astronomi adalah mencatat waktu pengamatan dalam UTC. Ini memastikan bahwa peneliti lain di seluruh dunia dapat memahami, mereplikasi, dan menggunakan data penelitian tersebut dengan benar. Standar format tanggal dan waktu ISO-8601, yang sering digunakan bersama UTC, juga diadopsi oleh IAU untuk aplikasi astronomi guna mengurangi potensi kebingungan.¹⁹³
- **Relevansi dalam Astronomi Modern:**
 - **Perhitungan Ephemeris Presisi Tinggi:** Perhitungan posisi Matahari, Bulan, dan planet untuk keperluan hisab modern (penentuan waktu salat, arah kiblat, kalender Hijriah, prediksi gerhana) seringkali menggunakan data ephemeris yang diterbitkan dalam skala waktu standar seperti TT atau TDB, yang memiliki hubungan tetap dengan UTC (melalui TAI). Perangkat lunak Astronomi modern perlu melakukan konversi antara waktu lokal pengguna dan skala waktu standar ini.¹¹⁶
 - **Koordinasi Observasi Hilal Global:** Untuk upaya penyatuan kalender Hijriah secara global atau regional, koordinasi pengamatan hilal antar negara menjadi penting. Pelaporan waktu pengamatan dalam UTC akan memudahkan perbandingan dan analisis data rukyat dari berbagai lokasi.
 - **Pengembangan Aplikasi Falak:** Aplikasi perangkat lunak atau layanan daring yang menyediakan informasi waktu salat, arah kiblat, atau kalender Hijriah untuk pengguna di seluruh dunia harus mampu menangani konversi zona waktu secara akurat ke dan dari UTC.

Secara internal, beberapa sistem perangkat lunak, seperti yang dijelaskan untuk *Analytics* dalam ¹⁹⁵, mungkin menyimpan semua data waktu lokal dengan offset UTC sebagai padanannya dalam UTC. Ini dilakukan untuk menyederhanakan perhitungan internal dan memastikan konsistensi. Rekonsiliasi offset UTC ini juga dapat memengaruhi tanggal jika konversi waktu melintasi batas tengah malam.

Dengan demikian, konversi antara waktu lokal dan UTC adalah praktik fundamental dalam astronomi modern dan aplikasi Astronomi kontemporer. Ini memastikan standarisasi, akurasi, dan kemudahan perbandingan data pengamatan dan hasil perhitungan secara global, yang sangat penting untuk kemajuan ilmiah dan praktik keagamaan yang terkoordinasi.

3.4 Penggunaan Library Astropy atau Skyfield untuk Konversi Koordinat dan Waktu

Perhitungan astronomi yang melibatkan transformasi koordinat dan konversi skala waktu bisa menjadi sangat kompleks dan memerlukan tingkat presisi yang tinggi. Untuk memfasilitasi tugas-tugas ini, komunitas ilmiah telah mengembangkan berbagai pustaka (library) perangkat lunak. Dalam ekosistem Python, yang semakin populer dalam komputasi ilmiah, Astropy dan Skyfield adalah dua pustaka utama yang menyediakan fungsionalitas komprehensif untuk astronomi. Bagian ini akan membahas pengantar penggunaan Python untuk astronomi, pustaka-pustaka numerik dasar, dan kemudian fokus pada Astropy dan Skyfield untuk konversi koordinat dan waktu, beserta contoh aplikasinya dalam konteks Astronomi.

3.4.1 Pengantar Python untuk Komputasi Ilmiah dalam Astronomi

Python telah menjadi salah satu bahasa pemrograman dominan dalam komputasi ilmiah, termasuk dalam bidang astronomi dan astrofisika. Beberapa faktor yang mendorong popularitasnya adalah:

- **Keunggulan Python:**
 - **Kemudahan Belajar dan Penggunaan:** Sintaks Python yang bersih, intuitif, dan mudah dibaca membuatnya relatif mudah dipelajari, bahkan bagi mereka yang memiliki sedikit pengalaman pemrograman.³⁰² Hal ini memungkinkan para ilmuwan untuk lebih fokus pada analisis ilmiah daripada kompleksitas bahasa pemrograman.
 - **Ekosistem Pustaka yang Kaya:** Kekuatan utama Python terletak pada ekosistem pustakanya yang luas dan matang untuk komputasi ilmiah, analisis data, dan visualisasi. Pustaka seperti NumPy, SciPy, Pandas, Matplotlib, Astropy, dan Skyfield menyediakan alat yang sangat kuat untuk berbagai tugas astronomi.³⁰²
 - **Sumber Terbuka dan Komunitas Besar:** Python dan sebagian besar pustaka ilmiahnya bersifat sumber terbuka (*open-source*), yang mendorong kolaborasi, pengembangan berkelanjutan, dan ketersediaan sumber daya belajar yang melimpah dari komunitas pengguna dan pengembang yang besar dan aktif.³⁰²
 - **Interoperabilitas:** Python dapat dengan mudah diintegrasikan dengan kode yang ditulis dalam bahasa lain (seperti C atau Fortran) dan berbagai perangkat lunak serta basis data, memungkinkan pemanfaatan alat yang sudah ada.³⁰²
 - **Fleksibilitas dan Skalabilitas:** Python adalah bahasa serbaguna yang dapat digunakan untuk skrip sederhana hingga aplikasi skala besar dan kompleks,

termasuk pemrosesan data besar dan pembelajaran mesin.³⁰⁴

- **Instalasi Python:**

- **Dari python.org:** Python standar dapat diunduh dan diinstal dari situs web resminya, python.org. Situs ini menyediakan installer untuk berbagai sistem operasi (Windows, macOS, Linux) dan juga kode sumbernya.³⁰⁷ Penting untuk memastikan bahwa Python ditambahkan ke PATH sistem selama instalasi di Windows agar dapat dijalankan dari command line.
- **Distribusi Anaconda:** Untuk komputasi ilmiah dan analisis data, distribusi Anaconda sangat direkomendasikan.³⁰⁵ Anaconda adalah distribusi Python dan R gratis yang menyertakan manajer paket Conda dan ratusan paket ilmiah populer yang sudah terinstal sebelumnya (seperti NumPy, Pandas, Matplotlib, SciPy, Jupyter Notebook, Spyder).³¹⁰ Miniconda adalah versi ringan yang hanya menyertakan Conda dan Python, memungkinkan pengguna untuk menginstal paket lain sesuai kebutuhan.³¹¹

- **Pengenalan IDE (Integrated Development Environment) dan Lingkungan Virtual:**

- **IDE untuk Python:** IDE menyediakan lingkungan yang komprehensif untuk menulis, menjalankan, dan men-debug kode. Beberapa IDE populer untuk pengembangan Python ilmiah adalah:
 - **VS Code (Visual Studio Code):** Editor kode sumber terbuka yang ringan namun kuat, dengan dukungan ekstensi Python yang sangat baik, debugger, terminal terintegrasi, dan fitur IntelliSense.³⁰⁹
 - **Spyder:** IDE yang dirancang khusus untuk komputasi ilmiah dengan Python. Spyder menawarkan fitur-fitur seperti editor canggih, konsol IPython interaktif, penjelajah variabel, dan integrasi dengan pustaka ilmiah populer. Spyder seringkali disertakan dalam distribusi Anaconda.³¹⁴
 - **PyCharm:** IDE Python yang kuat dengan berbagai fitur untuk pengembangan profesional, termasuk dukungan yang baik untuk analisis data dan komputasi ilmiah.²³⁵
- **Lingkungan Virtual (conda, venv):** Lingkungan virtual memungkinkan pembuatan ruang kerja yang terisolasi untuk setiap proyek. Setiap lingkungan dapat memiliki versi Python dan paket-paket yang berbeda, sehingga mencegah konflik dependensi antar proyek.³¹⁰
 - **Conda environments:** Dikelola menggunakan manajer paket conda. Perintah umum meliputi `conda create --name nama_env`, `conda activate nama_env`, dan `conda deactivate`.³¹⁰
 - **venv:** Modul standar Python untuk membuat lingkungan virtual.

- **Dasar-dasar Python yang Relevan:** Untuk memanfaatkan pustaka astronomi, pemahaman dasar-dasar Python berikut sangat penting:
 - **Tipe Data Dasar:** Angka (integer, float), string, boolean.³²¹
 - **Struktur Data:** List (daftar), Tuple, Dictionary (kamus).³²¹
 - **Struktur Kontrol Alur:** Pernyataan kondisional (if, elif, else), perulangan (for, while).³²⁶
 - **Fungsi:** Mendefinisikan dan memanggil fungsi (def, parameter, return).³²⁶

Dengan pemahaman dasar ini, pengguna dapat mulai menjelajahi dan memanfaatkan pustaka-pustaka Python yang lebih spesifik untuk analisis dan perhitungan astronomi.

3.4.2 Library Numerik dan Analisis Data Dasar

Sebelum masuk ke pustaka astronomi spesifik, penting untuk memahami beberapa pustaka dasar Python yang menjadi fondasi bagi banyak alat analisis data, termasuk dalam astronomi.

- **NumPy (Numerical Python):**
 - **Pengenalan ndarray:** Objek inti NumPy adalah ndarray (n-dimensional array), sebuah struktur data yang efisien untuk menyimpan dan memanipulasi array homogen (semua elemen bertipe sama) berdimensi banyak. ndarray menawarkan kinerja yang jauh lebih baik untuk operasi numerik dibandingkan list Python standar.³⁰⁴
 - **Pembuatan Array:** Array NumPy dapat dibuat dari list atau tuple Python menggunakan `np.array()`. Fungsi lain seperti `np.arange()`, `np.linspace()`, `np.zeros()`, `np.ones()`, dan `np.random.rand()` juga sering digunakan untuk membuat array dengan pola atau nilai tertentu.³²⁸
 - **Atribut Array:** Atribut penting dari ndarray termasuk `.shape` (dimensi array), `.dtype` (tipe data elemen), `.ndim` (jumlah dimensi), dan `.size` (jumlah total elemen).³²⁸
 - **Operasi Array Dasar:** NumPy mendukung operasi aritmatika elemen-demi-elemen (misalnya, penjumlahan, perkalian antar array atau array dengan skalar). Fungsi universal (*ufuncs*) seperti `np.sin()`, `np.cos()`, `np.sqrt()`, `np.log()` beroperasi pada setiap elemen array secara efisien.³²⁸
 - **Indexing dan Slicing:** Mirip dengan list Python, array NumPy dapat diindeks dan di-slice untuk mengakses atau memodifikasi elemen atau sub-array. *Boolean indexing* (menggunakan array boolean untuk memilih elemen) juga merupakan fitur yang sangat berguna.³²⁸
 - **Fungsi Matematika dan Statistik Dasar:** NumPy menyediakan berbagai

fungsi untuk perhitungan statistik dasar seperti `np.sum()`, `np.mean()`, `np.std()` (standar deviasi), `np.min()`, `np.max()`, dan `np.median()`.³²⁸

- **Contoh Penggunaan dalam Astronomi:** Membaca data katalog bintang ke dalam array NumPy untuk analisis statistik properti bintang, atau memanipulasi data piksel dari citra astronomi.³⁰⁴

- **Pandas:**

- **Pengenalan Series dan DataFrame:** Pandas memperkenalkan dua struktur data utama: Series (array satu dimensi berlabel) dan DataFrame (struktur data dua dimensi tabular berlabel, mirip spreadsheet atau tabel SQL). DataFrame sangat cocok untuk menangani data heterogen (kolom bisa memiliki tipe data berbeda) dan data yang hilang (*missing data*).³⁰⁴
- **Membaca/Menulis Data:** Pandas menyediakan fungsi yang mudah digunakan untuk membaca data dari berbagai format file seperti CSV (`pd.read_csv()`), Excel, SQL, JSON, dan menulis DataFrame kembali ke format tersebut (`df.to_csv()`).³³⁴
- **Inspeksi Data:** Metode seperti `df.head()`, `df.tail()`, `df.info()`, `df.describe()`, dan atribut seperti `df.shape`, `df.columns` sangat berguna untuk memahami struktur dan isi DataFrame.³³⁴
- **Seleksi Data:** Pandas menawarkan berbagai cara untuk memilih data, termasuk seleksi berdasarkan label kolom, label baris (`.loc`), posisi integer (`.iloc`), dan seleksi kondisional (menggunakan ekspresi boolean).³³⁵
- **Manipulasi Data Dasar:** Termasuk menambah/menghapus kolom, menangani data yang hilang (misalnya dengan `df.dropna()` atau `df.fillna()`), mengurutkan data (`df.sort_values()`), dan mengelompokkan data (`df.groupby()`) untuk agregasi.³³⁴
- **Contoh Penggunaan dalam Astronomi:** Menganalisis data katalog bintang yang besar, memfilter bintang berdasarkan kriteria tertentu (misalnya, magnitudo, warna, gerak diri), dan menggabungkan data dari berbagai survei langit.³⁰⁴

- **Matplotlib dan Seaborn:**

- **Matplotlib:** Adalah pustaka plotting 2D fundamental di Python. Modul `matplotlib.pyplot` (biasanya diimpor sebagai `plt`) menyediakan antarmuka mirip MATLAB untuk membuat berbagai jenis plot seperti plot garis (`plt.plot()`), scatter plot (`plt.scatter()`), histogram (`plt.hist()`), bar chart, dan pie chart.³⁴⁰ Pengguna memiliki kontrol penuh atas hampir setiap aspek plot, termasuk label sumbu (`plt.xlabel()`, `plt.ylabel()`), judul (`plt.title()`), legenda (`plt.legend()`), warna, gaya garis, marker, dan *ticks*.³⁴⁰ Plot dapat disimpan ke berbagai format file menggunakan `plt.savefig()`.³⁴⁰
- **Seaborn:** Dibangun di atas Matplotlib, Seaborn menyediakan antarmuka tingkat tinggi untuk membuat plot statistik yang menarik dan informatif dengan lebih

sedikit kode.³³⁶ Seaborn terintegrasi dengan baik dengan Pandas DataFrame dan unggul dalam visualisasi data relasional, distribusional, dan kategorikal (misalnya, histplot, scatterplot, boxplot, violinplot).

- **Contoh Penggunaan dalam Astronomi:** Memvisualisasikan distribusi magnitudo bintang dari sebuah katalog (histogram), memplot diagram warna-magnitudo (scatter plot), menampilkan kurva cahaya objek variabel (line plot), atau memvisualisasikan peta visibilitas hilal.³³⁸

Penguasaan pustaka-pustaka dasar ini memberikan fondasi yang kuat sebelum beralih ke pustaka astronomi yang lebih terspesialisasi seperti Astropy dan Skyfield.

3.4.3 Astropy: Pustaka Inti untuk Astronomi dalam Python

Astropy adalah proyek komunitas yang bertujuan untuk mengembangkan paket Python inti tunggal untuk astronomi dan membina interoperabilitas antara paket-paket astronomi Python lainnya.³⁵⁴ Paket inti astropy menyediakan fungsionalitas yang luas dan fundamental yang sering digunakan oleh para astronom dan astrofisikawan. Dua modul yang sangat relevan dengan topik bab ini adalah `astropy.coordinates` dan `astropy.time`.

- **Modul `astropy.coordinates`:** Modul ini menyediakan kelas dan fungsi untuk merepresentasikan dan melakukan transformasi antara berbagai sistem koordinat langit [³³¹

Karya yang dikutip

1. Brief History of Timing Analysis - Imagine the Universe! - NASA, diakses Mei 10, 2025, https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/timing_history.html
2. Precision timekeeping | Astronomy.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astronomy.com/science/precision-timekeeping/>
3. jurnal.ar-raniry.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/substantia/article/download/7664/pdf>
4. ASTRONOMI, diakses Mei 10, 2025, https://kinerja.iainmadura.ac.id/dokumenbkd/20212U0046464642_115.pdf
5. (PDF) The Study of Falak Science in the Qur'an: Analytical Study of ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/357970067_The_Study_of_Falak_Science_in_the_Qur'an_Analytical_Study_of_Tafsir_Al-Misbah
6. Observatory Development Strategy and Program - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/584066-observatory-development-strategy-and-pro-bc9fe6cf.pdf>
7. INTEGRASI ASTRONOMI DAN ASTRONOMI DALAM MATERI HISAB AWAL BULAN DAN RUKYATUL HILAL DI MAN 2 BLITAR, diakses Mei 10, 2025, http://digilib.uinsa.ac.id/62604/2/Muhammad%20Hafizh%20Hilmi_C06219022.pdf
8. Bola Langit (Revisi) | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/presentation/91334853/Bola-Langit-Revisi>
9. umsupress.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://umsupress.umsu.ac.id/wp-content/uploads/2024/05/9786234085006.pdf>
10. Celestial sphere - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Celestial_sphere
11. Current Semester Night Lab Sign-in | Middle Tennessee State ..., diakses Mei 10, 2025, https://w1.mtsu.edu/physics/Astronomy/prelab3_celestial_globe.php
12. milwaukeeastro.org, diakses Mei 10, 2025, [https://milwaukeeastro.org/beginners/celestial_sphere.asp#:~:text=Understanding%20the%20Celestial%20Sphere&text=A%20circle%20has%20360%20degrees,%C2%B0%20\(aka%20right%20angle\).](https://milwaukeeastro.org/beginners/celestial_sphere.asp#:~:text=Understanding%20the%20Celestial%20Sphere&text=A%20circle%20has%20360%20degrees,%C2%B0%20(aka%20right%20angle).)
13. gml.noaa.gov, diakses Mei 10, 2025, <https://gml.noaa.gov/ozwv/dobson/papers/report6/apph.html>
14. Local Horison and Meridian - Richard Fitzpatrick, diakses Mei 10, 2025, <https://farside.ph.utexas.edu/books/Syntaxis/Almagest/node15.html>
15. Chapter 2: Reference Systems - NASA Science, diakses Mei 10, 2025, <https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/chapter2-2/>
16. farside.ph.utexas.edu, diakses Mei 10, 2025, <https://farside.ph.utexas.edu/books/Syntaxis/Almagest/node15.html#:~:text=The%20local%20zenith%20is%20the,zenith%2C%20is%20visible%20from%20site>
17. www.sciencelearn.org.nz, diakses Mei 10, 2025,

- <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/623-the-celestial-sphere#:~:text=The%20zenith%3A%20This%20is%20the,lies%20on%20the%20celestial%20sphere.>
18. Positional Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://scweb.uhcl.edu/helm/WEB-Positional%20Astronomy/Tutorial/Coordinate%20system%20horisontal/horison tal.html>
 19. Definitions - Penn State, diakses Mei 10, 2025, <https://www.e-education.psu.edu/astro801/book/export/html/1699>
 20. science.nasa.gov, diakses Mei 10, 2025, <https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/chapter2-2/#:~:text=The%20celestial%20equator%20is%200,15%C2%B0%20in%20one%20hour.>
 21. The Celestial Equator, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.kde.org/trunk5/en/kstars/kstars/ai-cequator.html>
 22. Altitude & Azimut: The Horisontal Coordinate System - Time and Date, diakses Mei 10, 2025, <https://www.timeanddate.com/astronomy/horisontal-coordinate-system.html>
 23. horisontal_coordinates.html - UNLV Physics, diakses Mei 10, 2025, https://www.physics.unlv.edu/~jeffery/astro/celestial_sphere/horisontal_coordinates.html
 24. Horisontal Coordinate System | COSMOS, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/Horisontal+Coordinate+System>
 25. safe_3_3_Horisontal_Coordinates, diakses Mei 10, 2025, http://math_research.uct.ac.za/~siphelo/admin/interferometry/3_Positional_Astronomy/3_3_Horisontal_Coordinates.html
 26. Astropy Coordinates and SunPy Demo — PyHC Tutorials documentation, diakses Mei 10, 2025, https://heliopython.org/gallery/generated/gallery/coordinates_demo.html
 27. astronomy.swin.edu.au, diakses Mei 10, 2025, [https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/Horisontal+Coordinate+System#:~:text=The%20altitude%20\(alt\)%20of%20an,270o%20\(due%20West\).](https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/Horisontal+Coordinate+System#:~:text=The%20altitude%20(alt)%20of%20an,270o%20(due%20West).)
 28. astronomy.swin.edu.au, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/Horisontal+Coordinate+System#:~:text=Using%20the%20observer's%20local%20horison,and%20parallel%20to%20the%20horison>
 29. horisontal coordinate system, diakses Mei 10, 2025, <http://astro.vaporia.com/start/horisontalcoordinates.html>
 30. Akurasi Penentuan Altitude dan Azimut Bulan Saat Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021 di OASA UINSA Surabaya - Jurusan Fisika FMIPA Unesa, diakses Mei 10, 2025, <https://fisika.fmipa.unesa.ac.id/proceedings/index.php/snf/article/download/172/166/491>
 31. Azimut - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Azimut>

32. Sky Coordinates - | The Schools' Observatory, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.schoolsobservatory.org/learn/stargazing/plan/coordinates>
33. Azimut: Pengertian, Konsep Dasar, dan Penggunaannya - Alat Survey & Pemetaan, diakses Mei 10, 2025, <https://www.totalstationjakarta.com/azimut/>
34. tata koordinat benda langit (astronomi) | PPT - SlideShare, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.slideshare.net/slideshow/tata-koordinat-benda-langit-astronomi-50437392/50437392>
35. Two Systems: Celestial, Horizon - The Rotating Sky - NAAP - UNL Astronomy, diakses Mei 10, 2025, http://astro.unl.edu/naap/motion2/two_systems.html
36. astro.unl.edu, diakses Mei 10, 2025,
http://astro.unl.edu/naap/motion2/two_systems.html#:~:text=The%20horizon%20coordinate%20system%20has,in%20it%20change%20over%20time.
37. astro.unl.edu, diakses Mei 10, 2025,
http://astro.unl.edu/naap/motion2/two_systems.html#:~:text=Advantages%20and%20Disadvantages,in%20it%20change%20over%20time.
38. TATA KOORDINAT, diakses Mei 10, 2025,
https://statik.unesa.ac.id/profileunesa_konten_statik/uploads/geofish/file/ddbf0ae0-1e10-4867-8e50-8a2ed080404f.pdf
39. Mengenal Berbagai Sistem Koordinat dalam Astronomi - OIF UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://oif.umsu.ac.id/mengenal-berbagai-sistem-koordinat-dalam-astronomi/>
40. jurnal.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/downloadSuppFile/2549/219>
41. jim.usk.ac.id, diakses Mei 10, 2025,
<https://jim.usk.ac.id/sejarah/article/viewFile/29307/13610>
42. Biruni's Telescopic-Shape Instrument for Observing the Lunar ..., diakses Mei 10, 2025, <https://muslimheritage.com/birunis-telescopic-shape-instrument/>
43. UJI AKURASI ISTIWAAINI KARYA SLAMET HAMBALI DALAM PENENTUAN TITIK KOORDINAT SUATU TEMPAT SKRIPSI Diajukan untuk Memenuhi Tugas d - UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025,
<https://eprints.walisongo.ac.id/7743/1/132611045.pdf>
44. Muslim Prayer Times on Astronomy and Fukaha - Neliti, diakses Mei 10, 2025,
<https://media.neliti.com/media/publications/587903-muslim-prayer-times-on-astronomy-and-fuq-c47ffc55.pdf>
45. Prayer Times in High-Latitude Areas - International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/latitude.html?l=en>
46. jurnal.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/alhisab/article/download/21428/pdf>
47. Prayer Times Calculation - Pray Times - PrayTimes.org, diakses Mei 10, 2025,
<https://praytimes.org/calculation>
48. Qibla observation by shadows - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Qibla_observation_by_shadows

49. Menentukan Arah Kiblat dengan Bayang Matahari Kapanpun - PA Nabire, diakses Mei 10, 2025, <https://pa-nabire.go.id/2019/10/14/menentukan-arrah-kiblat-dengan-bayang-matahari-kapanpun>
50. Metode Kiblat dengan Sinar Matahari - Terjemah Kitab Kuning, diakses Mei 10, 2025, <https://www.alkhoirot.org/2023/02/metode-kiblat-dengan-sinar-matahari.html>
51. BAB IV ANALISIS PERBANDINGAN PENENTUAN KETINGGIAN HILAL PERSPEKTIF ALMANAK NAUTIKA DAN EPHEMERIS 1. Analisis Metode Perhitunga - etheses UIN, diakses Mei 10, 2025, http://etheses.uin-malang.ac.id/2557/8/07210042_Bab_4.pdf
52. POSISI DAN WAKTU TERBAIK PENGAMATAN HILAL (Studi Pos Observasi Bulan di Jawa Tengah Bagian Utara dan Selatan - UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/20907/1/Tesis_2002048007_Kurniawati.pdf
53. SOME REMARKS ON ISLAMIC ASTRONOMICAL ... - DSpace, diakses Mei 10, 2025, <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/293567/8913-16240-1-PB.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
54. Astronomy in the medieval Islamic world - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomy_in_the_medieval_Islamic_world
55. Rub' - Brill - Reference Works, diakses Mei 10, 2025, <https://referenceworks.brill.com/display/entries/EIEO/SIM-6317.xml>
56. (PDF) Tracing the History of Astrolabe Inventions Across Civilisations - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/301623673_Tracing_the_History_of_Astrolabe_Inventions_Across_Civilisations
57. Astrolabe - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Astrolabe>
58. Islamic Astrolabe | Science Museum Group Collection, diakses Mei 10, 2025, <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co56137/islamic-astrolabe>
59. 1-The horisontal coordinate system. The pole of the upper hemisphere is the zenith. - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/The-horisontal-coordinate-system-The-pole-of-the-upper-hemisphere-is-the-zenith_fig1_287645191
60. homepage.physics.uiowa.edu, diakses Mei 10, 2025, https://homepage.physics.uiowa.edu/~spangler/2961_13/Lec03_notes_13.pdf
61. Right Ascension & Declination: Celestial Coordinates for Beginners - Sky & Telescope, diakses Mei 10, 2025, <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/right-ascension-declination-celestial-coordinates/>
62. PEMANFAATAN ANALISA MATEMATIS DALAM PENYELESAIAN PERMASALAHAN FIKIH - Jurnal Elektronik Universitas Cokroaminoto Yogyakarta, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections/article/download/580/603>
63. Right Ascension and Declination: The Equatorial Coordinate System - YouTube, diakses Mei 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=ktgA2ti54-Q>

64. Fenonema Astronomi Selama Bulan April - Juni 2021 Quasar Terjauh dan Pertanyaan-pertanyaan Baru Rasi Bintang - Observatorium Bosscha, diakses Mei 10, 2025, https://bosscha.itb.ac.id/download/newsletter/NEBULA_E01.pdf
65. First point of Aries - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/First_point_of_Aries
66. Vernal Equinox | COSMOS - Centre for Astrophysics and Supercomputing, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/V/Vernal+Equinox>
67. Transformation between Celestial and Terrestrial Frames - Navipedia, diakses Mei 10, 2025, https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Transformation_between_Celestial_and_Terrestrial_Frames
68. Precession of the Earth's Rotation Axis, diakses Mei 10, 2025, <https://www.pas.rochester.edu/~blackman/ast104/precession.html>
69. Precession, diakses Mei 10, 2025, <https://sceweb.uhcl.edu/helm/WEB-Positional%20Astronomy/Tutorial/Precession/Precession.html>
70. PHYS 3154 Observational Astrophysics: Coordinate Epochs - Virginia Tech Physics, diakses Mei 10, 2025, <https://www1.phys.vt.edu/~jhs/phys3154/coordinateepochs.shtml>
71. Equinox (celestial coordinates) - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_\(celestial_coordinates\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_(celestial_coordinates))
72. International Celestial Reference System (ICRS) - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/ICRS_doc
73. Two Systems: Celestial, Horison - The Rotating Sky - NAAP, diakses Mei 10, 2025, https://astro.unl.edu/naap/motion2/two_systems.html
74. Astronomy with an online telescope: 3.3 | OpenLearn - Open ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=141781&ion=unit2.4.3>
75. Cosmic Coordinates - Las Cumbres Observatory, diakses Mei 10, 2025, <https://lco.global/spacebook/sky/equatorial-coordinate-system/>
76. lco.global, diakses Mei 10, 2025, <https://lco.global/spacebook/sky/equatorial-coordinate-system/#:~:text=The%20advantage%20of%20the%20equatorial,to%20a%20phenomenon%20called%20precession.>
77. Astronomi - Kelompok2 - Tata Koordinat Benda Langit | PDF | Sains & Matematika - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://pt.scribd.com/presentation/402399899/astronomi-kelompok2-tata-koordinat-benda-langit-pptx>
78. Sebuah coretan sederhana | Duwe rasa ora duwe rasa duwe., diakses Mei 10, 2025, <https://dhoniblog.wordpress.com/>
79. Makalah Astronomi Sistem Koordinat Pada Ilmu Astronomi | PDF | Ilmu Sosial - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://fr.scribd.com/document/388695205/Makalah-Astronomi-Sistem->

Koordinat-Pada-Ilmu-Astronomi-doc

80. Astronomical Coordinate Systems - Spider, diakses Mei 10, 2025,
<https://spider.seds.org/spider/ScholarX/coords.html>
81. Shakkāziyya - Brill - Reference Works, diakses Mei 10, 2025,
<https://referenceworks.brill.com/display/entries/EIEO/SIM-6787.xml>
82. Rete - Keith's Astrolabe Home Page, diakses Mei 10, 2025,
<http://www.autodidacts.f2s.com/astro74xx/info/rete.html>
83. In depth - Astrolabe - Museo Galileo, diakses Mei 10, 2025,
<https://catalogue.museogalileo.it/indepth/Astrolabe.html>
84. Islamic Science and Mathematics: The Astrolabe - TeachMideast, diakses Mei 10, 2025,
<https://teachmideast.org/islamic-science-and-mathematics-the-astrolabe/>
85. Theme: Islamic astronomy, diakses Mei 10, 2025,
<https://web.astronomicalheritage.net/show-theme?idtheme=15>
86. Sistem Koordinat Ekuatorial | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025,
<https://id.scribd.com/document/552197820/SISTEM-KOORDINAT-EKUATORIAL>
87. jurnal.ucy.ac.id, diakses Mei 10, 2025,
https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/agama_islam/article/download/2024/1794
88. equatorum al-kashi dalam hisab awal bulan kamariyah - Repository UIN Mataram, diakses Mei 10, 2025,
<https://repository.uinmataram.ac.id/3582/1/38%20Equatorum%20Al-Kashi%20Dalam%20Hisab%20Awal%20Bulan%20Kamariyah%20.pdf>
89. PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI MENGGUNAKAN ALGORITMA JEAN MEEUS HIGHER ACCURACY DAN KETERKAITANNYA DENGAN PENGEMB, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/islamfutura/article/download/1509/1146>
90. Using the SFA Star Charts and Understanding the Equatorial Coordinate System - TAMU Observatory, diakses Mei 10, 2025,
https://observatory.tamu.edu/courses/observational/assets/SFAStarCharts_Notes.pdf
91. Ecliptic coordinate system - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Ecliptic_coordinate_system
92. In depth - Ecliptic coordinates - Museo Galileo, diakses Mei 10, 2025,
<https://catalogue.museogalileo.it/indepth/EclipticCoordinates.html>
93. Solar Year, diakses Mei 10, 2025,
https://astro.dur.ac.uk/~ams/users/solar_year.html
94. BAB II LANDASAN TEORI A. Macam-macam Sistem Koordinat Allah SWT menciptakan alam semesta ini dalam keadaan yang teratur rapi. Re, diakses Mei 10, 2025,
<https://repository.ump.ac.id/6804/3/Alina%20Rahmatika%20Bab%20II.pdf>
95. Ecliptic Coordinate System | Encyclopedia MDPI, diakses Mei 10, 2025,
<https://encyclopedia.pub/entry/29333>
96. eSky: Ecliptic - Glyph Web, diakses Mei 10, 2025,

- <https://www.glyphweb.com/esky/concepts/ecliptic.html>
97. What Is the Ecliptic? - Sky & Telescope, diakses Mei 10, 2025, <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/what-is-the-ecliptic/>
 98. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Ecliptic_coordinate_system#:~:text=In%20astronomy%2C%20the%20ecliptic%20coordinate,orientations%20of%20Solar%20System%20objects.
 99. Presentasi Materi 4 IPBA.ppt - Direktori File UPI, diakses Mei 10, 2025, http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._FISIKA/197703312008121001-JUDHISTIRA_ARIA_UTAMA/Materi%20Perkuliahan/FI322/Presentasi%20Materi%204%20IPBA.ppt
 100. PEMANFAATAN ANALISA MATEMATIS DALAM PENYELESAIAN PERMASALAHAN FIKIH, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections/article/download/580/603/>
 101. 6.5: Ecliptic Coordinates - Physics LibreTexts, diakses Mei 10, 2025, [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Astronomy_Cosmology/Celestial_Mechanics_\(Tatum\)/06%3A_The_Celestial_Sphere/6.05%3A_Ecliptic_Coordinates](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Astronomy_Cosmology/Celestial_Mechanics_(Tatum)/06%3A_The_Celestial_Sphere/6.05%3A_Ecliptic_Coordinates)
 102. Positional Astronomy: Ecliptic coordinates, diakses Mei 10, 2025, <https://sceweb.sce.uhcl.edu/helm/WEB-Positional%20Astronomy/Tutorial/Ecliptic%20coordinates/Ecliptic%20coordinates.html>
 103. orbital mechanics - Is this description of ecliptic times correct ..., diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/55981/is-this-description-of-ecliptic-times-correct>
 104. Orbital pole - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Orbital_pole
 105. Ecliptic pole - Oxford Reference, diakses Mei 10, 2025, <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095740851>
 106. What Causes the Seasons? - National Weather Service, diakses Mei 10, 2025, <https://www.weather.gov/fsd/season>
 107. science.nasa.gov, diakses Mei 10, 2025, <https://science.nasa.gov/science-research/earth-science/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/#:~:text=Obliquity%20%E2%80%93%20The%20angle%20Earth's%20axis, respect%20to%20Earth's%20orbital%20plane.>
 108. Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth's Climate - NASA Science, diakses Mei 10, 2025, <https://science.nasa.gov/science-research/earth-science/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>
 109. Fisika Tata Surya - FTTM ITB - Institut Teknologi Bandung, diakses Mei 10, 2025, <https://www.fttm.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2018/02/e-Book-Fisika-Tata-Surya.pdf>
 110. diakses Januari 1, 1970, <https://www.moonsighting.com/ecliptic-coordinates.html>

111. luk.tsipil.ugm.ac.id, diakses Mei 10, 2025,
https://luk.tsipil.ugm.ac.id/artikel/Ramadhan/ICOP/ozlem_2014.pdf
112. BAB III SISTEM PERHITUNGAN KALENDER HIJRIAH DAN KALENDER UMAT ISLAM DI INDONESIA A. Pengertian Kalender Manusia sebagai makhluk, diakses Mei 10, 2025, <https://repository.uin-suska.ac.id/25973/8/8.%202017169HK-S3BAB%20III.pdf>
113. METODE ISTINBAT ALIRAN AN-NADZIR DALAM PENETAPAN 1 RAMADHAN DAN 1 SYAWAL DALAM PERSPEKTIF FILSAFAT HUKUM ISLAM - Repositori UIN Alauddin, diakses Mei 10, 2025, http://repositori.uin-alauddin.ac.id/4230/1/ALAMSYAH_opt.pdf
114. PAPERS | Islamic Calendar - Wix.com, diakses Mei 10, 2025,
<https://wenceslaoseguragon.wixsite.com/islamic-calendar/papers>
115. The Extended Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025,
https://astronomycenter.net/pdf/ozlem_2014.pdf
116. Asrini Studi Komparatif Hisab Kontemporer Ephemeris Dan Algoritma - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/hisabuna/article/download/18650/pdf/>
117. media.neliti.com, diakses Mei 10, 2025,
<https://media.neliti.com/media/publications/268332-sistem-hisab-awal-bulan-kamariah-dr-ing-e6dea15b.pdf>
118. Analisis Penentuan Awal Bulan Qomariyah Menurut Kriteria KHGT Tahun 2025 | Muhammadiyah Jateng, diakses Mei 10, 2025, <https://pwmjateng.com/analisis-penentuan-awal-bulan-qomariyah-menurut-kriteria-khgt-tahun-2025/>
119. informasi prakiraan hilal saat matahari terbenam tanggal 28 februari 2025 m (penentu awal bulan ramadan 1446 h), diakses Mei 10, 2025,
<https://hilal.bmkg.go.id/storage/1932/5ASXr5TEsFjldiPg6g5XpZRQY8LLxX3PdVyDaxY9.pdf>
120. Accurate Hijri Calculator (AHC) | A tool for calculating Islamic Lunar Calendar, diakses Mei 10, 2025, <https://accuhijri.github.io/>
121. New moon - Survival, diakses Mei 10, 2025, https://landsurvival.com/schools-wikipedia/wp/n/New_moon.htm
122. UJIAN KONSISTENSI PENERAPAN KRITERIA VISIBILITAS DALAM KASUS HILAL PENENTU AWAL RAMADAN 1446 H - BERITA UPI, diakses Mei 10, 2025,
<https://berita.upi.edu/ujian-konsistensi-penerapan-kriteria-visibilitas-dalam-kasus-hilal-penentu-awal-ramadan-1446-h/>
123. ASTROISLAMICA Pandangan Tokoh Falak tentang Elongasi pada Penentuan Awal Syawal 1443 H dalam Kriteria Neo MABIMS di Indonesia - Rumah Jurnal IAIN Lhokseumawe, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/2762/1330/13061>
124. Transformations between Celestial coordinate systems ... - HiSPARC, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.hisparc.nl/sapphire/transformations/celestial.html>
125. Celestial Coordinate System | Encyclopedia MDPI, diakses Mei 10, 2025,

- <https://encyclopedia.pub/entry/37720>
126. Practical astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.chiandh.eu/astro/coord/>
 127. What Is A Coordinate Transformation? - Physics Frontier - YouTube, diakses Mei 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=rHB7OhB7Phs>
 128. Spherical astronomy - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_astronomy
 129. Evaluation of Rashd Al-Qiblah Method Accuracy: Spherical Plane And Ellipsoid Approaches in Qibla Direction Determination - Lasigo Journals, diakses Mei 10, 2025, <https://journals.lasigo.org/index.php/IJRS/article/download/491/214>
 130. Positional Astronomy: Conversion between horisontal and equatorial systems, diakses Mei 10, 2025, <https://sceweb.uhcl.edu/helm/WEB-Positional%20Astronomy/Tutorial/Conversion/Conversion.html>
 131. SPHERICAL TRIANGLE AND ITS BASIC FORMULAS. PARALACTIC TRIANGLE, COORDINATE SUBSTITUTION FORMULAS, diakses Mei 10, 2025, <http://scientists.uz/uploads/202409/A-32.pdf>
 132. History of Trigonometry - Part 3 - NRICH - Millennium Mathematics Project, diakses Mei 10, 2025, <http://nrich.maths.org/articles/history-trigonometry-part-3>
 133. The History and Mathematics Behind the Construction of ... - Arches, diakses Mei 10, 2025, https://digitalworks.union.edu/context/theses/article/2141/viewcontent/2011_Urrestal1.pdf
 134. Meeus Solar Position Calculations / Dan Smith - Observable, diakses Mei 10, 2025, <https://observablehq.com/@danleesmith/meeus-solar-position-calculations>
 135. Astronomical Algorithms, diakses Mei 10, 2025, <http://www.geoastro.de/sunpos/meeus.html>
 136. diakses Januari 1, 1970, https://sceweb.uhcl.edu/helm/WEB-Positional%20Astronomy/Tutorial/Conversion_Equatorial_Ecliptic/Conversion_Equatorial_Ecliptic.html
 137. fundamental astronomy - Converting ecliptical to equatorial ..., diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/15008/converting-ecliptical-to-equatorial-coordinates>
 138. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/11893/formula-for-converting-equatorial-coordinates-to-ecliptic-coordinates>
 139. direct conversion from az/el to ecliptic coordinates - Math Stack Exchange, diakses Mei 10, 2025, <https://math.stackexchange.com/questions/3799191/direct-conversion-from-az-el-to-ecliptic-coordinates>
 140. coordinate systems - JSOC/Stanford, diakses Mei 10, 2025, http://jsoc.stanford.edu/doc/keywords/Spacecraft_Coords/Coordinate_Systems_Ch.5.pdf

141. Converting between Galactic and Ecliptic coordinates - Physics Stack Exchange, diakses Mei 10, 2025, <https://physics.stackexchange.com/questions/88663/converting-between-galactic-and-ecliptic-coordinates>
142. Celestial Coordinates — Coord 1.3 documentation - LSST DESC, diakses Mei 10, 2025, <https://lsstdesc.org/Coord/build/html/celestial.html>
143. 2. Spherical Astronomy - Moodle@Units, diakses Mei 10, 2025, https://moodle2.units.it/pluginfile.php/400045/mod_resource/content/1/eserciziCoordinate.pdf
144. Coordinate Conversions, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astro.sunysb.edu/fwalter/AST443/2005/coco.html>
145. Computing Approximate Solar Coordinates - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/sun_approx
146. Basics of Positional Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <http://www.geoastro.de/elevaz/basics/index.htm>
147. An Introduction to Falak (Islamic Mathematical Astronomy) | PDF ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/presentation/813390049/An-Introduction-to-Falak-Islamic-Mathematical-Astronomy>
148. Quranic Inspiration and the Rise of Astronomy and Mathematics in the Islamic Golden Age, diakses Mei 10, 2025, <https://thequran.love/2025/03/11/13244/>
149. What is UTC? How can I use it to observe objects? - Celestron, diakses Mei 10, 2025, <https://www.celestron.com/blogs/knowledgebase/what-is-utc-how-can-i-use-it-to-observe-objects>
150. library.fiveable.me, diakses Mei 10, 2025, <https://library.fiveable.me/key-terms/astrophysics-i/time-scales#:~:text=Different%20time%20scales%20significantly%20influence,rapidly%20over%20days%20or%20weeks.>
151. Time Scales, Epochs, and Intervals, diakses Mei 10, 2025, https://spsweb.fltops.jpl.nasa.gov/portaldatops/mpg/MPG_Docs/MPG%20Book/Release/Chapter2-TimeScales.pdf
152. Keeping Time | Intro to Astronomy Class Notes | Fiveable | Fiveable, diakses Mei 10, 2025, <https://library.fiveable.me/intro-astronomy/unit-4/3-keeping-time/study-guide/XKSMgjJTlj8JEg8>
153. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Civil_time#:~:text=In%20traditional%20astronomical%20usage%2C%20civil,00%3A00%20which%20meant%20midnight.
154. Civil time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Civil_time
155. cr.yp.to, diakses Mei 10, 2025, <https://cr.yp.to/bib/1991/mccarthy.pdf>
156. TIME SCALES - BIPM, diakses Mei 10, 2025, <https://www.bipm.org/utls/common/pdf/monographies-misc/Monographie1994-1.pdf>
157. Solar time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,

- https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_time
158. Apparent solar time | chronology - Britannica, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.britannica.com/science/apparent-solar-time>
159. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_time#:~:text=Apparent%20solar%20time%20or%20true,crudely%20measured%20by%20a%20sundial.
160. Solar time | Equation of Time, Sundial & Clocks - Britannica, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.britannica.com/science/solar-time>
161. Kinds of Time - The Sundial Primer, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.mysundial.ca/tsp/time.html>
162. The Equation of Time - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/eqtime>
163. Solar Time - Navipedia - GSSC, diakses Mei 10, 2025,
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Solar_Time
164. Understanding - Fundamental concepts - The making of time - IMCCE, diakses Mei 10, 2025, <https://promenade.imcce.fr/en/pages4/447.html>
165. Mean solar time | chronology | Britannica, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.britannica.com/science/mean-solar-time>
166. Leap second - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Leap_second
167. www.britannica.com, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.britannica.com/science/mean-solar-time#:~:text=by%20a%20sundial.-,Mean%20solar%20time%2C%20kept%20by%20most%20clocks%20and%20watches%2C%20is,that%20depends%20on%20the%20seasons.>
168. www.agi.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.agi.com/getmedia/8014b59b-f601-4016-9ca2-207d535e28d5/The-Mean-Solar-Time-Origin-of-Universal-Time-and-UTC.pdf?ext=.pdf#:~:text=Mean%20solar%20time%20is%20the,the%20same%20way%20that%20successive>
169. www.space.fm, diakses Mei 10, 2025,
[https://www.space.fm/astronomy/earthmoonsun/apparentmeansun.html#:~:text=Apparent%20%26%20Mean%20Sun,-4.2%20%2D%20Understand%20the&text=Mean%20Solar%20Time%20\(MST\)%20is,and%20the%20axis%20of%20Earth.](https://www.space.fm/astronomy/earthmoonsun/apparentmeansun.html#:~:text=Apparent%20%26%20Mean%20Sun,-4.2%20%2D%20Understand%20the&text=Mean%20Solar%20Time%20(MST)%20is,and%20the%20axis%20of%20Earth.)
170. apparent solar day, diakses Mei 10, 2025,
<https://gml.noaa.gov/ozwv/dobson/papers/report6/appi.html>
171. the celestial sphere - solar time - vik dhillon: phy105, diakses Mei 10, 2025,
https://vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy105/celsphere/phy105_solar.html
172. Mean sun - Oxford Reference, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803100145926>
173. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025,

- https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_time#:~:text=The%20equation%20of%20time%20describes,motion%20along%20the%20celestial%20equator.
174. Equation of Time - Astronomy at Durham, diakses Mei 10, 2025,
https://astro.dur.ac.uk/~ams/users/equation_of_time.html
175. diakses Januari 1, 1970, <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/what-equation-time>
176. SOME NOTES ON THE EQUATION OF TIME - Rodamedia, diakses Mei 10, 2025,
http://www.rodamedia.com/navastro/arquimedes/Eq.Time_v2.1_CHerrero.pdf
177. THE EQUATION OF TIME AND THE ANALEMMA 1. Introduction An analemma is the curve obtained by plotting the position of the Sun, as - UCD School of Mathematics and Statistics, diakses Mei 10, 2025,
<https://maths.ucd.ie/~plynch/Publications/Analemma-BIMS.pdf>
178. Equation of Time | University of Wisconsin River Falls, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.uwrf.edu/AboutUs/EquationOfTime.cfm>
179. The Equation of Time - Interactive Mathematics, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.intmath.com/blog/mathematics/the-equation-of-time-5039>
180. www.uwrf.edu, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.uwrf.edu/AboutUs/EquationOfTime.cfm#:~:text=The%20Graph%20shows%20the%20difference,time%20for%20that%20time%20zone.>
181. Equation of time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_time
182. Zij - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Zij>
183. Starry Messenger: Astronomical Tables - Department of History and Philosophy of Science |, diakses Mei 10, 2025,
<http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/tables.html>
184. Islamic Golden Age - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_Golden_Age#Astronomy
185. Al-Khwārizmī's Astronomical Tables Revisited: Analysis of the Equation - Taylor & Francis eBooks, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003421016-4/al-khw%C4%81rizm%C4%AB-astronomical-tables-revisited-analysis-equation-time-benno-van-dalen>
186. www.bennovandalen.de, diakses Mei 10, 2025,
<http://www.bennovandalen.de/Publications/van-Dalen-1996---al-Khwarizmi-s-Astronomical-Tables-Revisited.pdf>
187. Solar -v- Civil Mean Time - The Equation of Time, diakses Mei 10, 2025,
<https://equation-of-time.info/why-is-solar-time-different-from-civil-mean-time>
188. Universal Time - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025,
<https://aa.usno.navy.mil/faq/UT>
189. Time Scales: UT1, UTC, TAI, ET, TT, GPS time - Paul Schlyter, diakses Mei 10, 2025,
<https://stjarnhimlen.se/comp/time.html>
190. universal time - Glossary of Meteorology, diakses Mei 10, 2025,
https://glossary.ametsoc.org/wiki/Universal_time

191. Dates and time scales - sourceforge, diakses Mei 10, 2025,
https://sourceforge.isae.fr/svn/dcas-soft-espace/support/softs/CelestLab/trunk/help/en_US/scilab_en_US/help/Dates%20and%20time%20scales.html
192. Definitions of Systems of Time - CNMOC, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.cnmoc.usff.navy.mil/Our-Commands/United-States-Naval-Observatory/Precise-Time-Department/The-USNO-Master-Clock/Definitions-of-Systems-of-Time/>
193. A Brief Note on Time Systems - OSU Astronomy, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.astronomy.ohio-state.edu/pogge.1/Ast350/timesys.html>
194. Leap Seconds FAQs | NIST, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/leap-seconds-faqs>
195. How UTC offsets affect datetime expressions - HighBond, diakses Mei 10, 2025,
https://help.highbond.com/helpdocs/analytics/15/en-us/Content/analytics/data_preparation/expressions/how_utc_offsets_affect_datetime_expressions.htm
196. Leap Seconds - CNMOC, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.cnmoc.usff.navy.mil/Our-Commands/United-States-Naval-Observatory/Precise-Time-Department/Global-Positioning-System/USNO-GPS-Time-Transfer/Leap-Seconds/>
197. Time Zone Calculator, diakses Mei 10, 2025, <https://www.calculator.net/time-zone-calculator.html>
198. Time Zones and Universal Time - NASA Eclipse Web Site, diakses Mei 10, 2025,
<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/TimeZone.html>
199. Terrestrial Time (TT) - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/TT>
200. Current International Atomic Time — TAI - Time and Date, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.timeanddate.com/worldclock/other/tai>
201. UTC(DFM) contributes with more than 1 % to International Atomic Time (TAI), diakses Mei 10, 2025, <https://dfm.dk/en/2024/04/04/utcdfm-contributes-with-more-than-1-to-international-atomic-time-tai/>
202. International Atomic Time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/International_Atomic_Time
203. Barycentric Dynamical Time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Barycentric_Dynamical_Time
204. Terrestrial Time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Time
205. Terrestrial Time - Time and Date, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.timeanddate.com/time/terrestrial-dynamic-time.html>
206. Dynamical time | Astronomy, Calendars & Timekeeping - Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/dynamical-time>
207. SOFA Time Scale and Calendar Tools, diakses Mei 10, 2025,
http://www.iausofa.org/2015_0209_C/sofa/sofa_ts_c.pdf

208. Barycentric Dynamical Time | chronology - Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/Barycentric-Dynamical-Time>
209. SOFA: support routine, diakses Mei 10, 2025, https://www2.mpiahd.mpg.de/~mathar/progs/sofa_api/group_SR.html
210. Dynamical Time: TT, TDB, diakses Mei 10, 2025, <https://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/Misc/slabib.html/node221.html>
211. diakses Januari 1, 1970, <http://news.detik.com/berita/d-3200615/begini-cara-bmkg-amati-hilal-untuk-tentukan-awal-puasa>
212. diakses Januari 1, 1970, https://www.researchgate.net/publication/373205300_A_Comprehensive_Review_of_Modern_Astronomical_Algorithms_for_Islamic_Calendar_Prayer_Times_and_Qibla_Direction
213. diakses Januari 1, 1970, https://www.researchgate.net/publication/344500209_The_Potential_of_Using_Python_Programming_Language_for_Astronomical_Calculations_in_Islamic_Astronomy_Ilmu_Falak
214. diakses Januari 1, 1970, https://www.researchgate.net/publication/362022092_DEVELOPMENT_OF_ASTRONOMY_IN_INDONESIA_FROM_CLASSICAL_ISLAMIC_ASTRONOMY_TO_MODERN_ASTROPHYSICS
215. diakses Januari 1, 1970, https://www.researchgate.net/publication/332554873_CHALLENGES_OF_HILAL_VISIBILITY_IN_MALAYSIA_AND_ITS_SOLUTIONS_FROM_ASTRONOMICAL_PERSPECTIVE
216. diakses Januari 1, 1970, https://www.researchgate.net/publication/358457872_Modern_Approach_for_Prayer_Times_Calculation_Based_on_Accurate_Solar_Coordinates_and_Atmospheric_Refraction_Model
217. Hisab dan Rukyatul Hilal Oleh Drs, Baidhowi.HB,S.H | (31/10), diakses Mei 10, 2025, <https://www.ms-aceh.go.id/berita-artikel-galeri/artikel/174-hisab-dan-rukkyatul-hilal-oleh-drs-baidhowihbsh--3110.html>
218. Problematika Hisab Rukyat di Indonesia - LPSI UAD, diakses Mei 10, 2025, <https://lpsi.uad.ac.id/problematika-hisab-rukkyat-di-indonesia/>
219. USNO Circular 179 - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/publications/Circular_179
220. (PDF) Naval Observatory Vector Astrometry Software (NOVAS) Version 3.0 - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/234320947_Naval_Observatory_Vector_Astrometry_Software_NOVAS_Version_30
221. Sidereal Time - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/data/siderealtime>
222. Astronomy 505 - NMSU Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <http://astronomy.nmsu.edu/nicole/teaching/astr505/lectures/lecture08/slide08>

[html](#)

223. Timekeeping, diakses Mei 10, 2025, <https://www.pas.rochester.edu/~blackman/ast104/timekeeping.html>
224. Sidereal time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Sidereal_time
225. Computing Approximate Sidereal Time - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/GAST>
226. astronomy.nmsu.edu, diakses Mei 10, 2025, <http://astronomy.nmsu.edu/nicole/teaching/ast505/lectures/lecture08/slide08.html#:~:text=Sidereal%20Time%3A&text=As%20its%20name%20implies%2C%20local,LST%20%3D%20RAX%20%2B%20HAX.>
227. Astronomical Calculations: Sidereal Time - James Still, diakses Mei 10, 2025, <https://squarewidget.com/astronomical-calculations-sidereal-time/>
228. Lecture 10: Telling Time, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astronomy.ohio-state.edu/thompson.1847/161/time>
229. www.reddit.com, diakses Mei 10, 2025, https://www.reddit.com/r/explainlikeimfive/comments/139zud9/eli5_why_are_sidereal_days_and_solar_days/#:~:text=A%20sidereal%20day%20is%20the,the%20sky%2C%20about%2024%20hours.
230. astronomy.swin.edu.au, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/s/Sidereal+Day#:~:text=A%20solar%20day%20is%20the,to%20the%20'fixed'%20stars.>
231. Sidereal Day | COSMOS - Centre for Astrophysics and Supercomputing, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/s/Sidereal+Day>
232. Astronomy and Astrology in the Medieval Islamic World - The Metropolitan Museum of Art, diakses Mei 10, 2025, <https://www.metmuseum.org/essays/astronomy-and-astrology-in-the-medieval-islamic-world>
233. Seeing stars: astrolabes and the Islamic world | British Museum, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britishmuseum.org/blog/seeing-stars-astrolabes-and-islamic-world>
234. Modified Julian Dates, diakses Mei 10, 2025, <https://core2.gsfc.nasa.gov/time/>
235. PyCharm: The only Python IDE you need - JetBrains, diakses Mei 10, 2025, <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
236. (PDF) July 16, 622: Calculation of the Islamic epoch - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/382249804_July_16_622_Calculation_of_the_Islamic_epoch
237. Julian Date Converter - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/data/JulianDate>
238. Julian date, diakses Mei 10, 2025, <http://astro.vaporia.com/start/jd.html>
239. Converting Between Julian Dates and Gregorian Calendar Dates - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025,

- https://aa.usno.navy.mil/faq/JD_formula
240. UNIVERSAL TIME (UT) JULIAN DATE (JD) DOING THE MATH Chapter 5 - aavso, diakses Mei 10, 2025, https://www.aavso.org/sites/default/files/publications_files/manual/english_2013/Chapter5-2013.pdf
241. Period, Julian - Stellar Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.tidjma.tn/astro/period--julian/>
242. Julian Date Converter - Longpela Expertise, diakses Mei 10, 2025, <https://www.longpelaexpertise.com.au/toolsJulian.php>
243. JULDAY - NV5 Geospatial Software, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/JULDAY.html>
244. The Islamic Calendar - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/islamic>
245. Julian Calendar Date Conversion Formulas, diakses Mei 10, 2025, <https://excel-formulas.blogspot.com/2005/08/julian-calendar-date-conversion.html>
246. Gregorian Date to Julian Day Number - TIP, diakses Mei 10, 2025, <http://www.tip.net.au/~pmyers/General/JulianDates.php>
247. Julian Day Calculations (Gregorian Calendar) - Bill Jefferys, diakses Mei 10, 2025, <https://quasar.as.utexas.edu/BillInfo/JulianDatesG.html>
248. Selected Islamic Observances - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/data/islamic_observances
249. List of Islamic years - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Islamic_years
250. Gregorian Calendar: The World's Standard Calendar - Time and Date, diakses Mei 10, 2025, <https://www.timeanddate.com/calendar/gregorian-calendar.html>
251. Gregorian calendar - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Gregorian_calendar
252. GregorianCalendar (Java Platform SE 8) - Oracle Help Center, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/GregorianCalendar.html>
253. Sejarah dan Perbedaan Kalender Masehi dan Hijriah - Gramedia Literasi, diakses Mei 10, 2025, <https://www.gramedia.com/literasi/perbedaan-kalender-masehi-dan-hijriah/>
254. Apa Itu Tahun Kabisat? Sejarah Singkat, Perhitungan hingga Ciri-cirinya - detikcom, diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jabar/berita/d-7216230/apa-itu-tahun-kabisat-sejarah-singkat-perhitungan-hingga-ciri-cirinya>
255. Leap year - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Leap_year
256. Leap Years - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/leap_years
257. aa.usno.navy.mil, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/leap_years#:~:text=The%20Rule%3A,and%202400%20are%20leap%20years.

258. Islamic calendar - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_calendar
259. Hijri - (Intro to Humanities) - Vocab, Definition, Explanations | Fiveable, diakses Mei 10, 2025, <https://library.fiveable.me/key-terms/introduction-humanities/hijri>
260. Islamic calendar | Months, Definition, & Facts - Britannica, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.britannica.com/topic/Islamic-calendar>
261. The Islamic calendar: How does it work and why is it lunar? | Middle East Eye, diakses Mei 10, 2025, <https://www.middleeasteye.net/discover/islamic-calendar-how-does-it-work-and-how-does-it-differ>
262. Lunar Year & Solar Year - S1 Pendidikan Bahasa Inggris, diakses Mei 10, 2025,
<https://s1pbing.fbs.unesa.ac.id/post/lunar-year-solar-year>
263. Dinamika Almanak Masa Pra Islam Hingga Era Islam; Studi atas Penanggalan Sistem Solar, Lunar dan Luni-Solar, diakses Mei 10, 2025,
<https://ejournal.insuriponorogo.ac.id/index.php/qalamuna/article/download/88/81/>
264. Urutan 12 Nama Bulan dalam Islam, Sistem Kalender dan Artinya - Gramedia, diakses Mei 10, 2025, <https://www.gramedia.com/literasi/bulan-dalam-islam/>
265. Kalender Hijriah: Pengertian dan Perhitungannya - Kompas.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.com/skola/read/2022/09/08/090000269/kalender-hijriah--pengertian-dan-perhitungannya>
266. Islamic Calendar - Time and Date, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.timeanddate.com/calendar/islamic-calendar.html>
267. Understanding the Islamic Calendar | Yusuf / Cat Stevens, diakses Mei 10, 2025,
<https://catstevens.com/think/spiritual-domain/understanding-the-islamic-calendar/>
268. The Hejira, or Islamic Calendar - Helen Ziegler, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.hziegler.com/articles/hejira-islamic-calendar.html>
269. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining ... - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukyat-in-hilal-determination>
270. Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and Hisab Hakiki Wujudul Hilal Disputes for Muslims in Indonesia - Pharos Journal of Theology, diakses Mei 10, 2025,
https://www.pharosjot.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_10_105_2_april_indonesia.pdf
271. Mengapa Hilal Menjadi Penentu Awal Ramadan? Ini Penjelasannya! - Metro TV, diakses Mei 10, 2025, <https://www.metrotvnews.com/read/NP6C3gdj-mengapa-hilal-menjadi-penentu-awal-ramadan-ini-penjelasannya>
272. Manfaat Rukyatul Hilal dalam Menentukan Awal Bulan Hijriah, Apa Saja? - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nu.or.id/jakarta/manfaat-rukyatul-hilal-dalam-menentukan-awal-bulan-hijriah-apa-saja-EBs9g>
273. Beda Hitungan Hisab dan Rukyat, Metode Penentuan Awal Bulan Hijriah - CNN Indonesia, diakses Mei 10, 2025,

- <https://www.cnnindonesia.com/edukasi/20250217125737-561-1199178/beda-hitungan-hisab-dan-rukyat-metode-penentuan-awal-bulan-hijriah>
274. Hisab dan rukyat - Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas, diakses Mei 10, 2025, https://id.wikipedia.org/wiki/Hisab_dan_rukyat
275. Islamic Astronomy of Abbasid Era (750-1258 AD), diakses Mei 10, 2025, <https://ejournal.uinsaizu.ac.id/index.php/jihm/article/download/5944/2752/17155>
276. The Astronomical Calculations and Ramadan - Thoughts - Alukah, diakses Mei 10, 2025, <https://en.alukah.net/Shariah/4/7417/>
277. jummec.um.edu.my, diakses Mei 10, 2025, <https://jummec.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
278. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634?>
279. Predicting new crescent moon visibility applying machine learning ..., diakses Mei 10, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10126129/>
280. Crescent Moon Visibility Maps 1438-1465 AH - Moonsighting.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.com/visibility.html>
281. ELFALAKY: Jurnal Astronomi STUDI KOMPARASI KRITERIA AWAL BULAN KAMARIAH KALENDER FAZILET DAN KRITERIA MABIMS Irfan Astronomi - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/36469/17699>
282. ASTROISLAMICA Rekontruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak Implementasi Kriteria Imkanurukyat MABIMS Baru Dalam Kemaslaha - Rumah Jurnal IAIN Lhokseumawe, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/3642/1454/16041>
283. webspace.science.uu.nl, diakses Mei 10, 2025, https://webspace.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam_lunvis_method.htm
284. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/html/2503.21634v1>
285. Crescent Moon Visibility - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/crescent>
286. FREQUENTLY ASKED QUESTIONS ABOUT MOON-SIGHTING, diakses Mei 10, 2025, https://www.moonsighting.com/faq_ms.html
287. Tabular Islamic calendar - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Tabular_Islamic_calendar
288. WITH CRITERIA IMKAN AL-RUKYAT MABIMS (Case Study, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/7733/3287>
289. Hijri Date Conversion, diakses Mei 10, 2025, http://ihams.co.uk/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=58&lang=en
290. Converting Gregorian date to Hijri date - javascript - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/5177598/converting-gregorian-date-to-hijri-date>

291. Date conversion - Google Docs Editors Community, diakses Mei 10, 2025, <https://support.google.com/docs/thread/330538326/date-conversion?hl=en>
292. Simple Guide For Converting Hijri To Gregorian Dates - Arabic for Nerds, diakses Mei 10, 2025, <https://arabic-for-nerds.com/islam/convert-hijri-date/>
293. How to convert Hijri (Islamic) date to Gregorian date - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/25913389/how-to-convert-hijri-islamic-date-to-gregorian-date>
294. Convert Gregorian to Hijri Date in Java | Baeldung, diakses Mei 10, 2025, <https://www.baeldung.com/java-date-gregorian-hijri-conversion>
295. tytkal/python-hijiri-ummalkura - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/tytkal/python-hijiri-ummalkura>
296. hijridate - PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/hijridate/>
297. astro4edu.org, diakses Mei 10, 2025, <https://astro4edu.org/resources/glossary/term/362/#:~:text=Description%3A%20A%20time%20zone%20is,highest%20position%20in%20the%20sky.>
298. Glossary term: Time Zone - IAU Office of Astronomy for Education, diakses Mei 10, 2025, <https://astro4edu.org/resources/glossary/term/362/>
299. B List of Frequently Used Time Zones - Oracle Help Center, diakses Mei 10, 2025, https://docs.oracle.com/cd/F79978_01/docs.90/DSR%20Cloud%20Installation%20Guide/list-frequently-used-time-zones.html
300. Time Zones in the United States, diakses Mei 10, 2025, <https://www.timeanddate.com/time/zone/usa>
301. Local Time - Stellar Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.tidjma.tn/astro/local--time/>
302. (PDF) Python for Scientific Computing - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/3422935_Python_for_Scientific_Computing
303. [1807.04806] Use of Python programming language in astronomy and science - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/1807.04806>
304. Python for Astronomical Data Analysis: Uncover Cosmos, diakses Mei 10, 2025, <https://astrogazing.in/introduction-to-python-for-astronomical-data-analysis-unveiling-the-cosmos-with-code/>
305. Setting Up Python For Scientific Computing - Caltech, diakses Mei 10, 2025, https://www.rpgroup.caltech.edu/gist_pboc_2017/code/html/setting_up_python.html
306. Top 10 Python Libraries for Data Analytics - Noble Desktop, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nobledesktop.com/classes-near-me/blog/top-python-libraries-for-data-analytics>
307. Download Python | Python.org, diakses Mei 10, 2025, <https://www.python.org/downloads/>
308. Using Windows Installer | Python.org, diakses Mei 10, 2025, <https://www.python.org/download/releases/2.5/msi/>

309. Getting Started with Python in VS Code - Visual Studio Code, diakses Mei 10, 2025, <https://code.visualstudio.com/docs/python/python-tutorial>
310. Working with conda - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/tools/working-with-conda/main>
311. Anaconda Documentation - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/main>
312. Python Development in VSCode: Setting Up and Best Practices - DEV Community, diakses Mei 10, 2025, <https://dev.to/umeshtharukaofficial/python-development-in-vscode-setting-up-and-best-practices-de2>
313. Setting Up VSCode For Python: A Complete Guide - DataCamp, diakses Mei 10, 2025, <https://www.datacamp.com/tutorial/setting-up-vscode-python>
314. Official repository for Spyder - The Scientific Python Development Environment - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/spyder-ide/spyder>
315. Spyder - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/tools/working-with-conda/ide-tutorials/spyder>
316. Spyder IDE | Download, diakses Mei 10, 2025, <https://www.spyder-ide.org/download>
317. JetBrains: Essential tools for software developers and teams, diakses Mei 10, 2025, <https://www.jetbrains.com/>
318. PyCharm: The IDE for data and ML professionals - JetBrains, diakses Mei 10, 2025, <https://www.jetbrains.com/pycharm/data-science/>
319. Environments - Anaconda, diakses Mei 10, 2025, <https://www.anaconda.com/docs/tools/working-with-conda/environments>
320. How to use Conda as your Python environment - Read the Docs, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.readthedocs.com/platform/stable/guides/conda.html>
321. 5. Data Structures — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/tutorial/datastructures.html>
322. Python Data Types | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/python-data-types/>
323. 3. Data model — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/reference/datamodel.html>
324. Introduction to Python Programming - Itasca Software Documentation Sets, diakses Mei 10, 2025, https://docs.itascacg.com/itasca900/common/docproject/source/manual/scripting/python/doc/basic_python.py.html
325. collections — Container datatypes — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/library/collections.html>
326. 4. More Control Flow Tools — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.python.org/3/tutorial/controlflow.html>
327. 8. Compound statements — Python 3.13.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://docs.python.org/3/reference/compound_stmts.html
328. NumPy Tutorial – Python Library | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025,

- <https://www.geeksforgeeks.org/numpy-tutorial/>
329. NumPy quickstart — NumPy v2.2 Manual, diakses Mei 10, 2025, <https://numpy.org/doc/stable/user/quickstart.html>
330. Expanding Horizons: Applications of Numpy and Pandas in Bioinformatics, Astronomy, and Social Networks | CodeSignal Learn, diakses Mei 10, 2025, https://codesignal.com/learn/courses/deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data/lessons/expanding-horizons-applications-of-numpy-and-pandas-in-bioinformatics-astronomy-and-social-networks?ref=proaitools&utm_source=proaitools&utm_medium=referral&courseSlug=deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data&unitSlug=looking-ahead-the-future-of-generative-ai&urlSlug=journey-into-data-science-with-python
331. How to Use Python Libraries to Enhance Problem-Solving - Brillica Services, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brillicaservices.com/blogs/python-libraries-to-enhance-problem-solving>
332. Python For Data Analytics: A Systematic Literature Review Of Tools, Techniques, And Applications - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385805476_Python_For_Data_Analytics_A_Systematic_Literature_Review_Of_Tools_Techniques_And_Applications
333. Expanding Horizons: Applications of Numpy and Pandas in Bioinformatics, Astronomy, and Social Networks | CodeSignal Learn, diakses Mei 10, 2025, <https://codesignal.com/learn/courses/deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data/lessons/expanding-horizons-applications-of-numpy-and-pandas-in-bioinformatics-astronomy-and-social-networks?identifier=2773%2Cusing-sorted-sets-for-leaderboards&courseSlug=deep-dive-into-numpy-and-pandas-with-housing-data&unitSlug=using-sorted-sets-for-leaderboards&urlSlug=journey-into-data-science-with-python>
334. Pandas Tutorial | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/pandas-tutorial/>
335. 10 minutes to pandas — pandas 2.2.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://pandas.pydata.org/docs/user_guide/10min.html
336. An introduction to seaborn — seaborn 0.13.2 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://seaborn.pydata.org/tutorial/introduction.html>
337. Getting started — pandas 2.2.3 documentation - PyData |, diakses Mei 10, 2025, https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/index.html
338. Foundations of Astronomical Data Science: Plotting and Pandas, diakses Mei 10, 2025, <https://datacarpentry.github.io/astronomy-python/04-motion.html>
339. Practical Applications of Astropy - SciPy Proceedings, diakses Mei 10, 2025, <https://proceedings.scipy.org/articles/Majora-4af1f417-006.pdf>
340. Matplotlib Tutorial | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/matplotlib-tutorial/>
341. Pyplot tutorial — Matplotlib 3.10.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://matplotlib.org/stable/tutorials/pyplot.html>

- 342. Matplotlib savefig - Matplotlib Save Figure | Python matplotlib Tutorial - Indian AI Production, diakses Mei 10, 2025, <https://indianaiproduction.com/matplotlib-savefig/>
- 343. Examples of Plotting with Matplotlib — astroML 0.4 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://www.astroml.org/book_figures/appendix/fig_plotting_examples.html
- 344. Seaborn vs Matplotlib - Visualize data beyond - Techify Solutions, diakses Mei 10, 2025, <https://techifysolutions.com/blog/seaborn-vs-matplotlib/>
- 345. Free Video: Python Data Analysis and Visualization Course ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.classcentral.com/course/freecodecamp-python-data-analysis-and-visualization-course-astronomical-data-277751>
- 346. Legend guide — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/tutorials/intermediate/legend_guide.html
- 347. matplotlib.ticker — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/api/ticker_api.html
- 348. Matplotlib Legends - Tutorialspoint, diakses Mei 10, 2025, https://www.tutorialspoint.com/matplotlib/matplotlib_legends.htm
- 349. Matplotlib Ticks and Tick Labels - Tutorialspoint, diakses Mei 10, 2025, https://www.tutorialspoint.com/matplotlib/matplotlib_ticks_and_tick_labels.htm
- 350. matplotlib.pyplot.savefig — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/api/as_gen/matplotlib.pyplot.savefig.html
- 351. Python Seaborn Tutorial | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/python-seaborn-tutorial/>
- 352. Seaborn tutorial for beginners - Kaggle, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kaggle.com/code/prashant111/seaborn-tutorial-for-beginners>
- 353. Foundations of Astronomical Data Science: Visualization, diakses Mei 10, 2025, <https://datacarpentry.github.io/astronomy-python/08-plot.html>
- 354. (PDF) Astropy: A Community Python Package for Astronomy, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/251566730_Astropy_A_Community_Python_Package_for_Astronomy
- 355. Astropy: A community Python package for astronomy - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/292136250_Astropy_A_community_Python_package_for_astronomy
- 356. About The Astropy Project, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astropy.org/about.html>
- 357. Astronomical Coordinate Systems (astropy.coordinates) — Astropy ..., diakses Mei 10, 2025, <https://docs.astropy.org/en/stable/coordinates/index.html>

BAB IV

ALGORITMA PERHITUNGAN POSISI MATAHARI DAN BULAN

Pendahuluan: Memahami Gerak Matahari dan Bulan

Perhitungan posisi Matahari dan Bulan memegang peranan fundamental dalam khazanah ilmu astronomi, dan secara khusus, memiliki urgensi yang mendalam dalam konteks Astronomi. Kemampuan untuk menentukan secara akurat di mana kedua benda langit utama ini berada pada waktu tertentu bukanlah sekadar latihan intelektual, melainkan landasan bagi pelaksanaan berbagai aspek peribadatan umat Islam.¹ Posisi Matahari, misalnya, menjadi acuan utama dalam penentuan waktu-waktu salat fardhu yang lima, mulai dari terbitnya fajar hingga hilangnya senja.¹ Sementara itu, posisi Bulan, terutama pada fase hilal atau bulan sabit muda, menjadi penentu krusial bagi permulaan setiap bulan dalam kalender Hijriah. Kalender lunar ini mengatur pelaksanaan ibadah-ibadah penting seperti puasa Ramadan, perayaan Idul Fitri dan Idul Adha, serta penyelenggaraan ibadah haji.¹ Lebih lanjut, perhitungan posisi Matahari dan Bulan juga esensial untuk menentukan arah kiblat—orientasi ke Kakbah di Mekah—dari berbagai penjuru dunia, serta untuk memprediksi terjadinya fenomena alam seperti gerhana Matahari dan Bulan, yang juga memiliki implikasi ritual dalam bentuk salat gerhana.¹ Mengingat dampak langsungnya terhadap sah atau tidaknya serta ketepatan waktu pelaksanaan ibadah, akurasi dalam setiap perhitungan ini menjadi sebuah keniscayaan.¹³

Bab ini akan menyajikan serangkaian algoritma matematis yang, meskipun dikategorikan sebagai "model orbit sederhana" untuk memenuhi fokus pembahasan awal, tetap berpijak pada prinsip-prinsip mekanika benda langit yang telah teruji dan diakui. Model-model ini dirancang untuk memberikan dasar yang kokoh bagi pemahaman dan pelaksanaan perhitungan posisi Matahari dan Bulan. Penting untuk digarisbawahi sejak awal bahwa pergerakan benda-benda langit di alam semesta nyata adalah hasil dari interaksi gravitasi yang sangat kompleks antara banyak benda—sebuah problem N-benda yang rumit. Oleh karena itu, model yang disajikan dalam bab ini merupakan sebuah aproksimasi. Meskipun demikian, untuk berbagai aplikasi praktis, termasuk sebagian besar kebutuhan dasar dalam Astronomi, model yang disederhanakan ini mampu menghasilkan keluaran dengan tingkat akurasi yang memadai. Lebih dari itu, pemahaman terhadap model sederhana ini akan menjadi fondasi penting sebelum melangkah ke analisis model-model yang lebih canggih dan detail. Implementasi praktis dari algoritma-algoritma ini akan difokuskan pada

penggunaan bahasa pemrograman Python, dengan penekanan pada pemanfaatan modul standar seperti *math*. Pendekatan ini bertujuan agar pembaca dapat menangkap dan memahami logika fundamental di balik setiap tahapan perhitungan, tanpa terbebani oleh kompleksitas penggunaan *library* astronomi khusus pada tahap pengenalan ini.¹⁷ Pengenalan terhadap *library* yang lebih canggih akan dibahas sebagai bagian dari pengembangan dan studi lebih lanjut di akhir bab.

Perlu dicermati bahwa dorongan untuk memenuhi kebutuhan praktis keagamaan, sebagaimana termanifestasi dalam Astronomi, secara historis telah berfungsi sebagai katalisator yang signifikan bagi kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang astronomi dan matematika, dalam peradaban Islam. Hubungan ini tidak bersifat searah, di mana agama hanya memanfaatkan sains, melainkan sebuah interaksi dinamis di mana sains juga berkembang pesat karena adanya tantangan, pertanyaan, dan kebutuhan yang diajukan oleh konteks religius. Pelaksanaan ibadah-ibadah fundamental dalam Islam, seperti salat, puasa, dan haji, secara intrinsik terkait erat dengan fenomena-fenomena astronomis: pergerakan harian Matahari, siklus bulanan Bulan, dan orientasi geografis ke Kakbah.¹ Untuk memastikan bahwa ibadah-ibadah ini dilakukan dengan benar sesuai dengan tuntunan syariat, diperlukan metode-metode yang akurat untuk menentukan waktu, tanggal, dan arah berdasarkan fenomena langit tersebut.¹³ Kebutuhan mendesak ini mendorong para cendekiawan Muslim pada masa lalu untuk tidak hanya mengadopsi dan menerjemahkan pengetahuan astronomi dari peradaban-peradaban sebelumnya—seperti Yunani, India, dan Persia—tetapi juga untuk melakukan kajian kritis, melakukan verifikasi melalui observasi-observasi yang teliti, dan pada akhirnya mengembangkan pengetahuan tersebut lebih lanjut.²¹ Proses intelektual ini memicu gelombang inovasi dalam perancangan dan pembuatan instrumen-instrumen observasi yang lebih presisi, seperti astrolab, kuadran, dan sekstan, serta penyusunan tabel-tabel astronomi (dikenal sebagai *Zij*) yang berisi parameter-parameter orbit dan algoritma-algoritma untuk perhitungan posisi benda langit.²³ Lebih jauh lagi, observatorium-observatorium penting didirikan di berbagai pusat keilmuan Islam, termasuk Baghdad, Damaskus, Maragha, dan Samarkand, yang menjadi pusat penelitian astronomi terkemuka pada masanya.³⁰ Kebutuhan akan perhitungan yang presisi ini juga secara simultan mendorong kemajuan pesat dalam bidang matematika, terutama trigonometri, dan secara khusus trigonometri bola, yang menjadi alat matematis esensial dalam astronomi sferis.²² Fenomena ini mengilustrasikan bahwa Astronomi dalam peradaban Islam bukan hanya sekadar sebuah disiplin teknis-praktis, tetapi juga memiliki dimensi filosofis dan teologis yang mendalam, di mana studi terhadap keteraturan alam semesta dipandang sebagai salah satu cara untuk memahami kebesaran dan kebijaksanaan Sang Pencipta.²¹ Interaksi

yang dinamis dan saling memperkaya antara kebutuhan religius dan penyelidikan ilmiah ini menjadi salah satu ciri khas yang menonjol dari Zaman Keemasan Islam dan telah memberikan kontribusi yang abadi bagi perkembangan sains secara global.

4.1 Model Orbit Sederhana Matahari dan Bulan

Untuk memahami dan menghitung posisi Matahari dan Bulan, langkah pertama adalah mengadopsi model orbit yang, meskipun disederhanakan, mampu menangkap esensi pergerakan mereka. Model ini didasarkan pada hukum-hukum fundamental mekanika benda langit.

4.1.1 Prinsip Dasar Mekanika Benda Langit: Hukum Kepler

Johannes Kepler, seorang astronom Jerman abad ke-17, merumuskan tiga hukum empiris yang mendeskripsikan gerak planet-planet mengelilingi Matahari. Hukum-hukum ini, yang didasarkan pada analisis data observasi presisi tinggi yang dikumpulkan oleh Tycho Brahe, merevolusi pemahaman tentang Tata Surya, menggantikan model geosentris Ptolomeus yang telah dominan selama berabad-abad.⁵⁰ Meskipun Kepler tidak mengetahui dasar fisika di balik hukum-hukumnya (yang kemudian dijelaskan oleh Sir Isaac Newton melalui hukum gravitasi universal), hukum-hukum Kepler memberikan kerangka kerja matematis yang akurat untuk memprediksi posisi planet. Prinsip-prinsip ini juga berlaku, dengan modifikasi tertentu, untuk gerak Bulan mengelilingi Bumi dan gerak semu Matahari mengelilingi Bumi.

- **Hukum I Kepler (Hukum Elips):** Menyatakan bahwa "Setiap planet bergerak pada lintasan elips dengan Matahari berada di salah satu fokusnya".⁵¹ Ini berarti bahwa jarak sebuah planet dari Matahari tidaklah konstan sepanjang orbitnya. Dalam konteks gerak Bulan mengelilingi Bumi, Bumi menempati salah satu fokus dari lintasan elips Bulan. Konsep ini sangat penting karena menjelaskan mengapa terdapat variasi dalam jarak antara Bumi dan Matahari (yang mempengaruhi gerak semu Matahari) dan antara Bumi dan Bulan. Variasi jarak ini, pada gilirannya, mempengaruhi kecepatan sudut tampak kedua benda langit tersebut di langit.
- **Hukum II Kepler (Hukum Luas Sama):** Menyatakan bahwa "Garis yang menghubungkan planet dengan Matahari akan menyapu luasan yang sama dalam interval waktu yang sama".⁵¹ Implikasi langsung dari hukum ini adalah bahwa sebuah planet bergerak lebih cepat ketika berada lebih dekat dengan Matahari (pada titik perihelion) dan bergerak lebih lambat ketika berada lebih jauh dari Matahari (pada titik aphelion). Prinsip yang sama berlaku untuk Bulan dalam orbitnya mengelilingi Bumi: Bulan bergerak lebih cepat saat di perige (titik terdekat dengan Bumi) dan lebih lambat saat di apoge (titik terjauh dari Bumi). Hukum ini menjelaskan mengapa kecepatan gerak semu Matahari dan Bulan di bola langit tidak seragam sepanjang tahun atau sepanjang bulan.

- **Hukum III Kepler (Hukum Harmonik):** Menyatakan bahwa "Kuadrat periode orbit suatu planet sebanding dengan pangkat tiga sumbu semi-mayor orbitnya" ($P^2 \propto a^3$).⁵¹ Hukum ini membangun hubungan matematis antara ukuran orbit sebuah planet (yang direpresentasikan oleh sumbu semi-mayornya, a) dan waktu yang dibutuhkan planet tersebut untuk menyelesaikan satu revolusi penuh mengelilingi Matahari (periodenya, P). Meskipun tidak secara langsung digunakan untuk menghitung posisi sesaat, hukum ini fundamental dalam memahami skala dan dinamika Tata Surya.

Pemahaman terhadap ketiga hukum Kepler ini menjadi landasan untuk membangun model orbit Matahari dan Bulan yang akan digunakan dalam perhitungan posisi selanjutnya.

Tabel 4.1: Hukum Kepler dan Implikasinya

Hukum	Bunyi Hukum	Implikasi Utama untuk Perhitungan Posisi
Hukum I Kepler	Setiap planet bergerak pada lintasan elips dengan Matahari berada di salah satu fokusnya.	Jarak benda langit (Matahari/Bulan) dari Bumi bervariasi, mempengaruhi kecepatan sudut tampak dan diameter tampak.
Hukum II Kepler	Garis yang menghubungkan planet dengan Matahari menyapu luasan yang sama dalam interval waktu yang sama.	Kecepatan orbit benda langit tidak konstan; lebih cepat saat dekat dengan benda pusat (perihelion/perige) dan lebih lambat saat jauh.
Hukum III Kepler	Kuadrat periode orbit suatu planet sebanding dengan pangkat tiga sumbu semi-mayor orbitnya ($P^2 \propto a^3$).	Menghubungkan ukuran orbit dengan periode, penting untuk menentukan gerak rata-rata.

4.1.2 Elemen-Elemen Orbit Keplerian

Untuk mendefinisikan secara matematis sebuah orbit elips yang tidak terganggu (unperturbed two-body orbit) dalam ruang tiga dimensi, diperlukan enam parameter yang dikenal sebagai

elemen-elemen orbit Keplerian.⁵³ Elemen-elemen ini memberikan deskripsi lengkap tentang ukuran, bentuk, dan orientasi orbit, serta posisi benda langit di orbit tersebut pada waktu tertentu.

1. **Sumbu Semi-mayor (a):** Parameter ini mendefinisikan ukuran orbit elips. Secara geometris, ini adalah setengah dari sumbu terpanjang elips.⁵⁴ Untuk orbit planet mengelilingi Matahari, sumbu semi-mayor sering dinyatakan dalam Satuan Astronomi (Astronomical Units, AU), di mana 1 AU adalah jarak rata-rata Bumi-Matahari. Untuk orbit Bulan, biasanya dinyatakan dalam kilometer.
2. **Eksentrisitas (e):** Parameter ini mendefinisikan bentuk orbit elips. Nilainya berkisar dari 0 untuk orbit lingkaran sempurna hingga kurang dari 1 untuk orbit elips ($0 \leq e < 1$).⁵³ Semakin besar nilai e , semakin lonjong bentuk elipsnya.
3. **Inklinasi (i):** Parameter ini adalah sudut antara bidang orbit benda langit dan sebuah bidang referensi. Untuk planet-planet dalam Tata Surya dan gerak semu Matahari, bidang referensinya adalah bidang ekuiptika (bidang orbit Bumi). Untuk orbit Bulan, inklinasi biasanya juga diukur terhadap bidang ekuiptika.⁵³ Inklinasi menentukan seberapa "miring" orbit tersebut relatif terhadap bidang acuan.
4. **Bujur Node Naik (Ω):** Node naik adalah titik di mana orbit benda langit memotong bidang referensi dari selatan ke utara. Bujur node naik adalah sudut yang diukur pada bidang referensi, berlawanan arah jarum jam (dilihat dari kutub utara bidang referensi), dari arah referensi tertentu (biasanya titik Aries atau vernal equinox) ke arah node naik.⁵³ Parameter ini menentukan orientasi garis nodal, yaitu garis perpotongan antara bidang orbit dan bidang referensi.
5. **Argumen Periapsis (ω):** Periapsis adalah titik dalam orbit di mana benda langit berada paling dekat dengan benda pusat yang diorbitnya (misalnya, perihelion untuk orbit Matahari, perige untuk orbit Bulan). Argumen periapsis adalah sudut yang diukur dalam bidang orbit, dari node naik ke arah periapsis, searah dengan gerak benda langit.⁵³ Parameter ini menentukan orientasi elips di dalam bidang orbitnya. Kadang-kadang, digunakan juga **Bujur Periapsis ($\varpi = \Omega + \omega$)**.
6. **Anomali Rata-rata pada Epos (M_0):** Anomali rata-rata adalah parameter yang berkaitan dengan posisi benda langit dalam orbitnya pada suatu waktu referensi tertentu, yang disebut epos.⁵³ Ini adalah sudut imajiner yang akan ditempuh oleh benda langit jika ia bergerak dalam orbit lingkaran dengan periode yang sama seperti orbit elips sebenarnya, dengan kecepatan sudut konstan. Anomali rata-rata meningkat secara linear seiring waktu. M_0 adalah nilai anomali rata-rata pada epos yang ditentukan. Alternatif lain adalah menggunakan **Anomali Sejati pada Epos (v_0 atau θ_0)**, yaitu sudut sebenarnya antara arah periapsis dan posisi benda langit, diukur dari benda pusat, pada waktu epos. Namun, anomali rata-rata lebih sering digunakan untuk perhitungan karena perubahannya yang linear terhadap

waktu.

Keenam elemen ini, ketika diketahui, memungkinkan kita untuk menghitung posisi benda langit pada waktu kapan pun, dengan asumsi tidak ada perturbasi (gangguan) dari benda-benda langit lainnya.

Tabel 4.2: Elemen Orbit Keplerian

Elemen	Simbol	Deskripsi Fisik	Satuan Umum
Sumbu Semi-mayor	a	Setengah dari sumbu terpanjang elips; menentukan ukuran orbit.	km, AU
Eksentrisitas	e	Ukuran kelonjongan elips; $e=0$ untuk lingkaran, $0 \leq e < 1$ untuk elips.	Tanpa satuan
Inklinasi	i	Kemiringan bidang orbit terhadap bidang referensi (misalnya, ekliptika).	Derajat ($^{\circ}$)
Bujur Node Naik	Ω	Sudut dari arah referensi (titik Aries) ke node naik, diukur pada bidang referensi.	Derajat ($^{\circ}$)
Argumen Periapsis	ω	Sudut dari node naik ke titik periapsis (pendekatan terdekat), diukur pada bidang orbit.	Derajat ($^{\circ}$)
Anomali Rata-rata	M_0	Posisi sudut imajiner	Derajat ($^{\circ}$)

pada Epos		benda langit pada waktu epos, jika bergerak dengan kecepatan rata-rata pada orbit lingkaran.	

4.1.3 Model Orbit Matahari (Geosentris Semu)

Dari perspektif pengamat di Bumi, Matahari tampak bergerak mengelilingi Bumi dalam siklus tahunan. Lintasan semu Matahari ini, yang dikenal sebagai ekliptika, sebenarnya adalah proyeksi dari orbit Bumi mengelilingi Matahari ke bola langit.⁵⁵ Untuk keperluan perhitungan posisi Matahari sebagaimana terlihat dari Bumi, kita dapat menggunakan model geosentris semu di mana Bumi dianggap diam dan Matahari bergerak mengelilinginya dalam orbit elips. Elemen-elemen orbit yang digunakan untuk Matahari dalam model ini sebenarnya adalah elemen-elemen orbit Bumi mengelilingi Matahari, namun diinterpretasikan dari kerangka acuan geosentris. Epos standar yang umum digunakan dalam astronomi modern adalah J2000.0, yang merujuk pada tanggal 1 Januari 2000 pukul 12:00 Waktu Terrestrial (TT), atau Tanggal Julian (JD) 2451545.0.⁵⁵

Elemen orbit rata-rata Bumi (yang akan kita gunakan untuk posisi semu Matahari) untuk epos J2000.0 adalah sebagai berikut (nilai-nilai ini adalah aproksimasi yang umum digunakan dan dapat ditemukan dalam berbagai sumber seperti *Astronomical Almanac*):

- **Sumbu semi-mayor (aE atau aS):** Sekitar 1.00000011 Satuan Astronomi (AU).⁶¹ Untuk model sederhana, seringkali $aS=1$ AU digunakan.
- **Eksentrisitas (eS):** Sekitar 0.01671022 pada J2000.0.⁶¹ Nilai ini berubah sangat lambat seiring waktu. Untuk model sederhana, dapat dianggap konstan.
- **Inklinasi (iS):** Karena ekliptika didefinisikan oleh bidang orbit Bumi, maka inklinasi orbit semu Matahari terhadap ekliptika adalah 0° .⁶¹
- **Bujur Perihelion Matahari (ϖS):** Ini adalah jumlah dari bujur node naik (ΩS) dan argumen perihelion (ωS). Karena inklinasi adalah nol, ΩS tidak terdefinisi secara unik, sehingga yang lebih relevan adalah bujur perihelion. Pada J2000.0, $\varpi S \approx 102.94719^\circ$.⁶¹ Nilai ini juga mengalami perubahan lambat (presesi apsidal).
- **Anomali Rata-rata Matahari pada Epos J2000.0 (MOS):** Anomali rata-rata Matahari pada epos J2000.0 dapat dihitung dari Bujur Rata-rata Matahari (LOS) dan Bujur Perihelion Matahari (ϖS) pada epos tersebut: $MOS = LOS - \varpi S$. Bujur Rata-rata Matahari (LOS) pada J2000.0 adalah sekitar 100.46435° .⁶¹ Jadi, $MOS \approx 100.46435^\circ - 102.94719^\circ = -2.48284^\circ \equiv 357.51716^\circ$.

- **Gerak Rata-rata Harian Matahari (nS):** Kecepatan sudut rata-rata Matahari dalam gerak semunya mengelilingi Bumi adalah sekitar 360° dibagi dengan panjang tahun tropis (sekitar 365.2422 hari). Jadi, $nS \approx 0.98564736^\circ$ per hari.⁶³

Dengan elemen-elemen ini, Anomali Rata-rata Matahari (MS) pada Tanggal Julian JD dapat dihitung menggunakan rumus:

$$MS = (MOS + nS \times (JD - 2451545.0)) \pmod{360^\circ}$$

di mana $JD_{J2000.0} = 2451545.0$ adalah Tanggal Julian untuk epos J2000.0.⁶⁴ Penggunaan Tanggal Julian (JD) sangat krusial dalam perhitungan astronomi karena menyediakan skala waktu yang kontinu dan tidak ambigu, menghilangkan kerumitan yang terkait dengan kalender sipil yang memiliki panjang bulan dan tahun kabisat yang bervariasi.⁷

Tabel 4.1: Elemen Orbit Rata-rata Bumi (untuk Posisi Semu Matahari) pada Epos J2000.0

Elemen	Simbol	Nilai (J2000.0)	Satuan	Sumber
Sumbu Semi-mayor	aS	1.00000011	AU	⁶¹
Eksentrisitas	eS	0.01671022	Tanpa satuan	⁶¹
Inklinasi terhadap Ekliptika	iS	0.00005	Derajat (°)	⁶¹
Bujur Node Naik	ΩS	-11.26064	Derajat (°)	⁶¹
Bujur Perihelion	ϖS	102.94719	Derajat (°)	⁶¹
Bujur Rata-rata	LOS	100.46435	Derajat (°)	⁶¹

Anomali Rata-rata (MOS=LOS- ϖ S)	MOS	357.51716 $\approx$ 357.5291	Derajat (°)	Perhitungan ⁶³
Gerak Rata-rata Harian	nS	0.98564736	Derajat/hari	⁶³

Catatan: Nilai MOS dari ⁶³ adalah 357.529°, yang sedikit berbeda karena LOS dan ϖ S di ⁶¹ adalah elemen oskulasi, sedangkan formula di ⁶³ menggunakan bujur rata-rata dan anomali rata-rata secara langsung. Untuk konsistensi dengan formula MS yang akan digunakan, nilai MOS $\approx$ 357.5291° dari ⁶³ lebih sesuai.

4.1.4 Model Orbit Bulan (Geosentris)

Berbeda dengan Matahari yang gerakannya semu dari Bumi, Bulan memang secara fisik mengorbit Bumi. Orbit Bulan juga berbentuk elips, dengan Bumi berada di salah satu fokusnya.⁷⁴ Perhitungan posisi Bulan lebih kompleks daripada Matahari karena orbitnya sangat dipengaruhi oleh perturbasi (gangguan) gravitasi dari Matahari dan, pada tingkat yang lebih kecil, dari planet-planet lain. Namun, untuk model sederhana, kita dapat memulai dengan elemen-elemen orbit rata-rata Bulan relatif terhadap Bumi dan bidang ekliptika.⁷⁵

Elemen-elemen orbit rata-rata Bulan dan laju perubahannya dari epos J2000.0 (di mana T adalah abad Julian yang dihitung dari J2000.0, yaitu $T=(JD-2451545.0)/36525$) adalah sebagai berikut, berdasarkan formula yang umum digunakan (misalnya, dari Jean Meeus, "Astronomical Algorithms") ⁶⁶:

- **Bujur Rata-rata Bulan (LM'):** LM'

$$=(218.3164477+481267.88123421T-0.0015786T^2+T^3/538841-T^4/65194000)(\text{mod } 360^\circ)$$
- **Anomali Rata-rata Bulan (MM atau M'):** MM

$$=(134.9633964+477198.8675055T+0.0087414T^2+T^3/69699-T^4/14712000)(\text{mod } 360^\circ)$$
- **Bujur Node Naik Rata-rata Bulan (Ω M):** Ω M

$$=(125.0445479-1934.1362891T+0.0020754T^2+T^3/467441-T^4/60616000)(\text{mod } 360^\circ)$$
- **Bujur Perige Rata-rata Bulan (ϖ M'):** ϖ M'

$$=(83.3532465+4069.0137287T-0.0103200T^2-T^3/80053+T^4/18999000)(\text{mod } 360^\circ)$$
- **Inklinasi Rata-rata Orbit Bulan terhadap Ekliptika (iM):** iM $\approx$ 5.145396°. Untuk model sederhana, nilai ini dapat dianggap konstan.

- **Eksentrisitas Rata-rata Orbit Bulan (e_M):** $e_M \approx 0.0549006$. Untuk model sederhana, nilai ini dapat dianggap konstan. (Sumber lain ⁷⁵ memberikan $e_M = 0.0549006 - 0.0000508T$).
- **Sumbu Semi-mayor Orbit Bulan (a_M):** $a_M \approx 384748$ km atau 385000.56 km (nilai rata-rata dari jarak perige dan apoge).⁷⁵

Argumen perige rata-rata Bulan (ω_M') dapat dihitung sebagai $\omega_M' = (\varpi_M' - \Omega_M) \pmod{360^\circ}$.

Sangat penting untuk diingat bahwa orbit Bulan sangat kompleks. Model Keplerian sederhana yang hanya menggunakan elemen rata-rata ini akan menghasilkan kesalahan posisi yang signifikan (bisa mencapai beberapa derajat) jika tidak ada koreksi perturbasi yang diterapkan.⁷⁴ Perturbasi utama disebabkan oleh gravitasi Matahari, yang menyebabkan variasi periodik dalam elemen orbit Bulan. Beberapa perturbasi utama yang sering diperhitungkan dalam model yang lebih akurat meliputi:

- **Eveksi:** Variasi periodik dalam eksentrisitas dan posisi perige Bulan.
- **Variasi:** Percepatan dan perlambatan periodik Bulan dalam orbitnya.
- **Persamaan Tahunan (Annual Equation):** Efek variasi jarak Bumi-Matahari terhadap perturbasi Matahari pada Bulan.
- **Ketidaksamaan Paralaktik (Parallactic Inequality):** Terkait dengan jarak Bulan dari Matahari.

Untuk implementasi awal tanpa *library* kompleks, kita akan menggunakan elemen orbit rata-rata dan rumus Keplerian dasar, dengan kesadaran akan keterbatasan akurasi. Penambahan term-term koreksi periodik utama, seperti yang dijelaskan dalam Bab 47 buku "Astronomical Algorithms" karya Jean Meeus (berdasarkan teori ELP2000-82), akan sangat meningkatkan akurasi namun menambah kompleksitas perhitungan secara signifikan.⁸¹

Tabel 4.2: Elemen Orbit Rata-rata Bulan (J2000.0) dan Koefisien Laju Perubahan

Elemen	Simbol	Nilai pada J2000.0 (derajat)	Koefisien n T (derajat /abad)	Koefisien n T^2 (derajat /abad ²)	Koefisien n T^3 (derajat /abad ³)	Koefisien n T^4 (derajat /abad ⁴)	Sumber Utama

Bujur Rata-rata	LM'	218.31644 77	+481267. 8812342 1	- 0.00157 86	+1/5388 41	- 1/65194 000	81
Anomali Rata-rata	MM	134.9633 964	+477198. 8675055	+0.0087 414	+1/6969 9	- 1/147120 00	81
Bujur Node Naik Rata-rata	Ω M	125.0445 479	- 1934.136 2891	+0.0020 754	+1/4674 41	- 1/60616 000	81
Bujur Perige Rata-rata	ϖ M'	83.35324 65	+4069.0 137287	- 0.01032 00	- 1/80053	+1/18999 000	81
Inklinasi Rata-rata vs Ekliptika	iM	5.145396	$\backslash$ multicol umn{4}{ c	}}{(Diang gap konstan untuk model sederha na))}		75	
Eksentrisitas Rata-rata	eM	0.05490 06	$\backslash$ multicol umn{4}{ c	}}{(- 0.0000 508, dapat diangga p konstan) }		75	
Sumbu Semi-mayor	aM	384748	$\backslash$ multicol umn{4}{ c	}}{(km, Diangga p		75	

Rata-rata				konstan) }	

Catatan: T adalah abad Julian dari J2000.0. Nilai aM dan iM sering dianggap konstan dalam model sederhana.

4.1.5 Konsep Waktu dalam Astronomi

Perhitungan posisi benda langit sangat bergantung pada definisi waktu yang presisi. Astronomi menggunakan berbagai skala waktu, masing-masing dengan tujuan dan karakteristiknya sendiri.⁵⁰

- **Tanggal Julian (JD):**

Merupakan sistem perhitungan hari yang berjalan secara kontinu, dimulai dari 1 Januari 4713 SM pukul 12:00 UT. Satu Tanggal Julian mencakup periode 24 jam dari siang ke siang. Penggunaan JD sangat fundamental dalam astronomi karena menyederhanakan perhitungan interval waktu antara dua peristiwa astronomis, tanpa terpengaruh oleh kerumitan kalender sipil seperti perbedaan jumlah hari dalam bulan atau aturan tahun kabisat.⁶³

- **Modified Julian Date (MJD):** Untuk kemudahan, sering digunakan MJD, yang didefinisikan sebagai $MJD = JD - 2400000.5$. MJD dimulai pada tengah malam.⁶⁸

- **Skala Waktu Astronomi:**

- **Waktu Matahari Sejati (Apparent Solar Time - AST):** Ini adalah waktu yang didasarkan pada posisi aktual Matahari di langit, sebagaimana yang akan ditunjukkan oleh sebuah jam matahari yang sempurna.³ Durasi satu hari matahari sejati (interval antara dua transit Matahari di meridian lokal) bervariasi sepanjang tahun. Variasi ini disebabkan oleh dua faktor utama: pertama, orbit Bumi yang berbentuk elips (menyebabkan kecepatan orbit Bumi berubah), dan kedua, kemiringan sumbu rotasi Bumi terhadap bidang orbitnya (oblikuitas ekliptika).⁹⁰

- **Waktu Matahari Rata-rata (Mean Solar Time - MST):** Untuk mengatasi ketidakseragaman Waktu Matahari Sejati, diperkenalkan konsep "Matahari rata-rata" fiktif. Matahari rata-rata ini diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang ekuator langit, menyelesaikan satu siklus dalam satu tahun tropis rata-rata.⁹⁰ MST lebih seragam dan menjadi dasar bagi waktu sipil. Para astronom Muslim pada abad ke-13 telah memahami bahwa jam matahari dapat dirancang untuk menunjukkan jam yang sama panjangnya sepanjang tahun dengan menggunakan gnomon yang sejajar dengan sumbu

rotasi Bumi, sebuah konsep yang mengarah pada pemahaman Waktu Matahari Rata-rata.⁹⁷ Lebih lanjut, tabel-tabel astronomi Islam (Zij) seringkali mencakup perhitungan "persamaan waktu" (*ta'dil al-waqt*), yang merupakan selisih antara Waktu Matahari Sejati dan Waktu Matahari Rata-rata. Pencantuman persamaan waktu ini secara eksplisit menunjukkan bahwa para astronom Muslim tidak hanya menyadari ketidakseragaman gerak Matahari tetapi juga memiliki metode matematis untuk mengoreksinya, yang secara implisit memerlukan konsep Waktu Matahari Rata-rata sebagai referensi standar.⁴¹

- **Persamaan Waktu (Equation of Time - EoT):** Ini adalah selisih antara Waktu Matahari Sejati dan Waktu Matahari Rata-rata: $EoT = AST - MST$.³ Nilai EoT dapat mencapai sekitar ± 16 menit dan bervariasi sepanjang tahun.
- **Waktu Universal (Universal Time - UT):** Ini adalah skala waktu yang didasarkan pada rotasi Bumi.
 - **UT1:** Merupakan ukuran waktu rotasi Bumi yang sebenarnya terhadap bintang-bintang jauh (secara teknis, terhadap quasar melalui International Celestial Reference Frame). UT1 sedikit tidak seragam karena adanya variasi dalam laju rotasi Bumi.⁸⁹
 - **UTC (Coordinated Universal Time):** Ini adalah skala waktu atomik yang sangat presisi dan menjadi dasar waktu sipil di seluruh dunia. UTC dijaga agar tetap dekat (dalam 0.9 detik) dengan UT1 melalui penambahan atau pengurangan "detik kabisat" (leap seconds) secara periodik.⁸⁹
- **Waktu Terrestrial (Terrestrial Time - TT):** Ini adalah skala waktu atomik yang ideal dan seragam, digunakan sebagai argumen waktu untuk efemeris (tabel posisi benda langit) geosentris. TT secara efektif adalah Waktu Atom Internasional (TAI) ditambah konstanta 32.184 detik ($TT = TAI + 32.184s$).⁸⁹
- **Waktu Dinamis Barisentrik (Barycentric Dynamical Time - TDB):** Ini adalah skala waktu relativistik yang digunakan untuk efemeris yang direferensikan ke pusat massa (barisenter) Tata Surya. Perbedaan antara TDB dan TT sangat kecil dan bersifat periodik.⁸⁹
- **Delta T (ΔT):** Ini adalah selisih kumulatif antara waktu dinamis (seperti TT atau ET sebelumnya) dan Waktu Universal (UT1), yaitu $\Delta T = TT - UT1$. Nilai ΔT merefleksikan perlambatan rotasi Bumi seiring waktu dan penting untuk konversi antara skala waktu dinamis dan skala waktu yang terkait dengan rotasi Bumi.¹⁰⁰

Pentingnya definisi waktu yang presisi dan beragam dalam astronomi tidak dapat dilebih-lebihkan. Hal ini memungkinkan para ilmuwan untuk melakukan pengukuran posisi dan gerak benda langit dengan akurat, mempelajari fenomena transien dan

periodik, melakukan sinkronisasi pengamatan dari berbagai observatorium di seluruh dunia, dan bahkan menguji teori-teori fisika fundamental.⁵⁰ Dalam konteks Astronomi modern, penggunaan skala waktu standar internasional seperti UTC menjadi krusial untuk meningkatkan akurasi dan konsistensi, terutama dalam pengembangan aplikasi perangkat lunak dan sistem komputasi untuk penentuan waktu ibadah, penyusunan kalender Hijriah, dan prediksi visibilitas hilal secara global.¹⁰³

Tabel 4.3: Skala Waktu Utama dalam Astronomi

Nama Skala Waktu	Singkatan	Basis Utama	Penggunaan Utama
Waktu Matahari Sejati	AST	Posisi aktual Matahari di langit	Jam matahari, referensi dasar fenomena harian Matahari
Waktu Matahari Rata-rata	MST	Gerak Matahari rata-rata fiktif	Dasar waktu sipil historis, referensi untuk Persamaan Waktu
Waktu Universal	UT1	Rotasi aktual Bumi	Astronomi posisi, navigasi, referensi untuk ΔT
Waktu Universal Terkoordinasi	UTC	Waktu atomik (TAI) yang disesuaikan dengan UT1 melalui detik kabisat	Standar waktu sipil global, referensi untuk zona waktu
Waktu Atom Internasional	TAI	Rata-rata jam atom di seluruh dunia	Skala waktu atomik kontinu, dasar untuk UTC dan TT
Waktu Terrestrial	TT	Skala waktu atomik seragam (TAI+32.184s)	Efemeris geosentris, teori dinamika benda langit dari Bumi

Waktu Dinamis Barisentrik	TDB	Skala waktu relativistik untuk pusat massa Tata Surya	Efemeris planet dan benda Tata Surya presisi tinggi
Tanggal Julian	JD	Hitungan hari kontinu sejak 1 Jan 4713 SM, 12:00 UT	Perhitungan interval waktu astronomi, input untuk algoritma posisi
Waktu Sidereal Lokal	LST	Sudut jam titik Aries relatif terhadap meridian lokal	Menghubungkan koordinat ekuatorial dengan pengamatan lokal, penentuan waktu transit

4.2 Perhitungan Bujur Ekliptika dan Lintang Ekliptika

Setelah memahami model orbit dan konsep waktu, langkah selanjutnya adalah menghitung posisi Matahari dan Bulan dalam sistem koordinat ekliptika. Sistem ini sangat fundamental karena orbit Bumi (dan karenanya gerak semu Matahari) serta orbit Bulan (dengan sedikit inklinasi) secara alami terkait dengan bidang ekliptika.

4.2.1 Sistem Koordinat Ekliptika

Sistem koordinat ekliptika adalah sistem koordinat langit yang menggunakan bidang ekliptika sebagai bidang fundamental atau bidang referensi utamanya.⁵⁶ Bidang ekliptika sendiri adalah bidang di mana Bumi mengorbit Matahari. Dari perspektif geosentris, ini adalah jalur semu tahunan yang ditempuh Matahari melintasi bola langit relatif terhadap bintang-bintang.

Koordinat dalam sistem ini didefinisikan sebagai berikut:

- **Bujur Ekliptika (λ):** Adalah jarak sudut suatu objek yang diukur sepanjang ekliptika, ke arah timur (berlawanan arah jarum jam jika dilihat dari kutub ekliptika utara), dari titik referensi utama yaitu **titik Aries** atau **vernal equinox**. Titik Aries adalah salah satu dari dua titik di mana ekliptika berpotongan dengan ekuator langit, secara spesifik titik di mana Matahari melintas dari belahan langit selatan ke utara (sekitar 21 Maret). Bujur ekliptika diukur dari 0° hingga 360° .¹¹⁷
- **Lintang Ekliptika (β):** Adalah jarak sudut suatu objek dari bidang ekliptika, diukur

tegak lurus terhadap ekliptika. Lintang ekliptika diukur dari -90° hingga $+90^\circ$. Nilai positif menunjukkan posisi objek di utara ekliptika, sedangkan nilai negatif menunjukkan posisi objek di selatan ekliptika. Objek yang terletak tepat di bidang ekliptika memiliki lintang ekliptika 0° .

Definisi fundamental ini meletakkan dasar bagi pemahaman sistem koordinat ekliptika, sebuah kerangka acuan yang memegang peranan sentral dalam astronomi, khususnya dalam studi dan pemetaan pergerakan benda-benda langit di dalam Tata Surya kita. Sistem ini memungkinkan para astronom untuk menentukan posisi Matahari, planet, komet, asteroid, dan objek lainnya dengan presisi yang tinggi. Laporan ini bertujuan untuk mengelaborasi lebih lanjut definisi tersebut, mengeksplorasi secara rinci komponen-komponen fundamental sistem koordinat ekliptika, menganalisis fenomena dinamis yang mempengaruhinya seperti presesi ekuinoks dan nutasi, membahas aplikasi praktisnya dalam berbagai bidang astronomi, serta menjelaskan hubungannya dengan sistem koordinat ekuatorial dan krusialnya penggunaan epos standar dalam menjaga konsistensi dan akurasi pengukuran astronomi. Pemahaman yang mendalam terhadap aspek-aspek ini esensial, mengingat definisi awal, meskipun akurat, memerlukan perluasan signifikan untuk mencapai tingkat kerincian yang komprehensif. Setiap istilah kunci seperti ekliptika, Titik Aries, bujur, dan lintang akan dikaji lebih dalam mengenai asal-usul, signifikansi, dan nuansa penggunaannya. Lebih lanjut, sistem koordinat ini tidak eksis dalam ruang hampa; ia dipengaruhi oleh fenomena fisika fundamental dan memiliki aplikasi praktis yang luas yang akan menjadi fokus pembahasan dalam laporan ini.

4.3 Komponen Fundamental Sistem Koordinat Ekliptika

Sistem koordinat ekliptika tersusun atas beberapa komponen fundamental yang saling terkait dan membentuk satu kesatuan kerangka logis. Perubahan atau ketidakstabilan pada satu komponen, misalnya pergeseran Titik Aries akibat presesi, akan berdampak pada keseluruhan sistem dan interpretasi koordinat yang diukur.

4.3.1 Bidang Ekliptika

Bidang ekliptika adalah bidang referensi utama dalam sistem koordinat ini. Secara konseptual, bidang ini merupakan perpanjangan bidang orbit Bumi saat berevolusi mengelilingi Matahari yang diproyeksikan ke bola langit. Dari perspektif seorang pengamat di Bumi, ekliptika tampak sebagai jalur semu tahunan yang dilalui Matahari melintasi rasi-rasi bintang di langit. Jalur semu Matahari ini adalah manifestasi dari

gerakan revolusi Bumi mengelilingi Matahari, bukan gerakan Matahari itu sendiri dalam skala lokal Tata Surya. Pemahaman ini menggarisbawahi pentingnya membedakan antara kerangka acuan heliosentris (yang menggambarkan realitas fisik) dan pengamatan geosentris (yang menggambarkan kenampakan dari Bumi).

Meskipun orbit Bumi sebenarnya berbentuk elips, untuk keperluan definisi bidang referensi dalam sistem koordinat, ekliptika umumnya dipandang sebagai sebuah lingkaran besar di bola langit. Signifikansi utama bidang ekliptika terletak pada kenyataan bahwa mayoritas pergerakan planet-planet dan benda-benda lain dalam Tata Surya terjadi sangat dekat dengan bidang ini. Hal ini menjadikan sistem koordinat ekliptika pilihan yang sangat alami dan efisien untuk menggambarkan dan menganalisis dinamika objek-objek tersebut.

4.3.2 Titik Aries (Ekuinoks Vernal / Titik Musim Semi)

Titik Aries, yang juga dikenal sebagai ekuinoks vernal atau titik musim semi, adalah titik referensi fundamental atau titik asal untuk pengukuran bujur ekliptika (λ). Secara geometris, Titik Aries didefinisikan sebagai salah satu dari dua titik di mana bidang ekliptika berpotongan dengan bidang ekuator langit (proyeksi ekuator Bumi ke bola langit).

Secara astronomis, Titik Aries menandai momen ketika Matahari, dalam gerak semu tahunannya di sepanjang ekliptika, melintasi ekuator langit dari belahan langit selatan ke belahan langit utara. Peristiwa ini terjadi sekitar tanggal 21 Maret setiap tahunnya dan menandai dimulainya musim semi di belahan Bumi utara dan musim gugur di belahan Bumi selatan.

Nama "Titik Aries" memiliki aspek historis yang penting. Sekitar 2.000 tahun yang lalu, ketika konsep ini pertama kali diformalkan oleh para astronom Yunani kuno seperti Hipparchus, titik perpotongan ini memang terletak di dalam batas-batas konstelasi Aries (Domba). Namun, akibat fenomena presesi ekuinoks (yang akan dibahas secara rinci pada Bab III), posisi Titik Aries secara perlahan bergeser ke arah barat sepanjang ekliptika. Saat ini, Titik Aries telah bergeser keluar dari konstelasi Aries dan berada di konstelasi Pisces (Ikan). Meskipun telah bergeser, nama historis "Titik Aries" dan simbolnya (Υ , menyerupai tanduk domba) tetap dipertahankan dalam astronomi sebagai titik referensi utama untuk bujur ekliptika dan juga asensio rekta dalam sistem koordinat ekuatorial.

4.3.3 Bujur Ekliptika (λ)

Sebagaimana telah disebutkan dalam definisi awal, bujur ekliptika (λ) adalah salah satu dari dua koordinat utama dalam sistem ekliptika. Koordinat ini mengukur jarak sudut suatu objek langit di sepanjang bidang ekliptika. Pengukuran bujur ekliptika dimulai dari Titik Aries ($\lambda=0^\circ$) dan diukur ke arah timur, yaitu berlawanan dengan arah jarum jam jika dilihat dari kutub ekliptika utara. Rentang nilai untuk bujur ekliptika adalah dari 0° hingga 360° , mencakup satu lingkaran penuh di sepanjang ekliptika. Sebagai contoh, sebuah objek yang berada 90° di sebelah timur Titik Aries di sepanjang ekliptika akan memiliki bujur ekliptika $\lambda=90^\circ$.

4.3.4 Lintang Ekliptika (β)

Lintang ekliptika (β) adalah koordinat kedua dalam sistem ini, yang mengukur jarak sudut suatu objek langit dari bidang ekliptika. Pengukuran ini dilakukan tegak lurus terhadap bidang ekliptika. Nilai positif ($+\beta$) menunjukkan bahwa objek tersebut berada di sebelah utara bidang ekliptika, menuju kutub ekliptika utara. Sebaliknya, nilai negatif ($-\beta$) menunjukkan bahwa objek tersebut berada di sebelah selatan bidang ekliptika, menuju kutub ekliptika selatan. Objek yang terletak tepat di bidang ekliptika, seperti Matahari dalam gerak semu tahunannya (dalam sistem ekliptika geosentrik), akan memiliki lintang ekliptika $\beta \approx 0^\circ$. Rentang nilai untuk lintang ekliptika adalah dari -90° (di kutub ekliptika selatan), melalui 0° (di bidang ekliptika), hingga $+90^\circ$ (di kutub ekliptika utara).

4.3.5 Kutub Ekliptika

Kutub ekliptika adalah dua titik pada bola langit yang masing-masing berjarak 90° dari setiap titik di bidang ekliptika. Terdapat Kutub Ekliptika Utara (KUE) dan Kutub Ekliptika Selatan (KES). Garis imajiner yang menghubungkan kedua kutub ini dan melewati pusat bola langit disebut sumbu ekliptika, yang secara definisi tegak lurus terhadap bidang ekliptika.

Penting untuk dicatat bahwa kutub ekliptika tidak berimpit dengan kutub langit (Kutub Langit Utara dan Kutub Langit Selatan), yang merupakan proyeksi dari sumbu rotasi Bumi ke bola langit. Terdapat jarak sudut antara kutub langit dan kutub ekliptika yang besarnya sama dengan kemiringan sumbu rotasi Bumi relatif terhadap garis yang tegak lurus bidang orbitnya, atau yang dikenal sebagai kemiringan ekliptika (oblikuitas, ϵ), yang nilainya sekitar $23,4^\circ$. Akibat fenomena presesi ekuinoks, kutub langit tampak bergerak mengelilingi kutub ekliptika dalam periode yang sangat panjang.

4.4 Dinamika Referensi: Presesi Ekuinoks

Sistem koordinat ekliptika, meskipun fundamental, tidaklah statis. Titik referensinya, khususnya Titik Aries, mengalami pergeseran lambat namun pasti akibat fenomena yang dikenal sebagai presesi ekuinoks. Pemahaman terhadap dinamika ini krusial untuk penggunaan sistem koordinat ekliptika secara akurat dalam jangka waktu yang panjang.

4.4.1 Mekanisme Presesi

Presesi ekuinoks adalah perubahan orientasi sumbu rotasi Bumi yang terjadi secara lambat dan kontinu. Gerakan ini sering dianalogikan dengan gerakan meliuk (wobbling) pada sumbu sebuah gasing yang berputar dan sedikit miring. Akibat presesi, sumbu rotasi Bumi tidak selalu menunjuk ke arah yang sama relatif terhadap bintang-bintang latar belakang yang jauh. Sebaliknya, sumbu tersebut secara perlahan "menggambar" sebuah lingkaran imajiner di langit. Satu siklus lengkap dari gerakan presesi ini membutuhkan waktu yang sangat lama, yaitu sekitar 25.772 hingga 26.000 tahun.

4.4.2 Penyebab Utama

Penyebab utama dari fenomena presesi ekuinoks adalah interaksi gravitasi antara Matahari dan Bulan dengan bentuk Bumi yang tidak bulat sempurna. Bumi bukanlah bola yang ideal; akibat gaya sentrifugal dari rotasinya, planet kita sedikit pepat di bagian kutub dan menggembung di daerah ekuator. Tonjolan ekuatorial inilah yang menjadi "pegangan" bagi gaya gravitasi eksternal.

Sumbu rotasi Bumi miring sekitar $23,4^\circ$ relatif terhadap garis yang tegak lurus bidang orbitnya mengelilingi Matahari (bidang ekliptika). Selain itu, orbit Bulan mengelilingi Bumi juga memiliki kemiringan sekitar $5,1^\circ$ terhadap bidang ekliptika. Kombinasi dari tonjolan ekuatorial Bumi dan kemiringan sumbu rotasi ini menyebabkan gaya gravitasi yang diberikan oleh Matahari dan Bulan pada tonjolan tersebut tidak merata. Gaya tarik ini mencoba untuk "meluruskan" sumbu rotasi Bumi, yaitu menarik tonjolan ekuatorial ke arah bidang ekliptika (untuk Matahari) dan bidang orbit Bulan (untuk Bulan). Namun, karena Bumi adalah benda yang berotasi dengan momentum sudut yang besar, respons terhadap torsi (gaya putar) ini bukanlah pelurusan langsung, melainkan gerakan presesi yang lambat pada sumbunya. Ini adalah konsekuensi langsung dari hukum kekekalan momentum sudut dan prinsip-prinsip mekanika klasik, sebuah demonstrasi elegan dari interaksi gravitasi fundamental Newtonian yang bekerja pada benda langit yang tidak berbentuk bola sempurna dan sedang berotasi.

4.4.3 Dampak pada Titik Aries

Pergeseran orientasi sumbu rotasi Bumi akibat presesi secara langsung mempengaruhi posisi bidang ekuator Bumi, dan consequently, proyeksinya ke bola langit yang dikenal sebagai ekuator langit. Karena ekuator langit inilah yang berpotongan dengan bidang ekliptika untuk mendefinisikan Titik Aries, maka pergeseran ekuator langit menyebabkan Titik Aries juga bergeser.

Titik Aries bergerak ke arah barat (berlawanan dengan arah gerak semu tahunan Matahari di sepanjang ekliptika) dengan kecepatan sekitar 50,3 hingga 50,4 detik busur per tahun. Meskipun pergeseran tahunan ini sangat kecil dan hampir tidak teramati dalam skala waktu kehidupan manusia, dampaknya menjadi signifikan secara kumulatif selama berabad-abad dan milenium. Inilah sebabnya mengapa astronom kuno seperti Hipparchus pada abad ke-2 SM mampu mendeteksi fenomena ini dengan membandingkan hasil pengamatannya dengan catatan posisi bintang dari generasi astronom Babilonia sebelumnya.

Konsekuensi paling terkenal dari pergeseran Titik Aries adalah perpindahannya dari konstelasi Aries, tempat ia berada sekitar dua milenium lalu, ke konstelasi Pisces, tempat ia berada saat ini. Dalam ribuan tahun mendatang, Titik Aries akan terus bergeser dan memasuki konstelasi Aquarius. Dampak jangka panjang lainnya adalah perubahan pada bintang yang berfungsi sebagai "Bintang Utara". Saat ini, bintang Polaris di konstelasi Ursa Minor berada sangat dekat dengan proyeksi kutub utara langit Bumi. Namun, karena presesi, sumbu rotasi Bumi akan menunjuk ke arah yang berbeda di masa depan. Sekitar 12.000 tahun dari sekarang, bintang Vega di konstelasi Lyra akan menjadi Bintang Utara yang terang, sementara Polaris akan menjauh dari posisi kutub.

4.4.4 Konsekuensi pada Koordinat Ekliptika

Pergeseran Titik Aries sebagai titik nol (0°) untuk pengukuran bujur ekliptika (λ) memiliki konsekuensi langsung pada nilai koordinat ini. Karena Titik Aries bergerak ke arah barat, bujur ekliptika semua benda langit yang posisinya relatif tetap terhadap bintang-bintang latar belakang (seperti bintang-bintang jauh atau galaksi) akan tampak perlahan-lahan bertambah besar seiring berjalannya waktu, dengan laju yang sama dengan pergeseran Titik Aries, yaitu sekitar 50,3 detik busur per tahun.

Hal ini menggarisbawahi pentingnya penggunaan epos (titik waktu referensi tertentu) ketika menyatakan koordinat ekliptika (dan juga koordinat ekuatorial). Tanpa spesifikasi epos, katalog posisi bintang akan menjadi tidak akurat dengan cepat dan perbandingan

data dari waktu yang berbeda akan menjadi sulit. Sebaliknya, lintang ekliptika (β) suatu objek, yang diukur tegak lurus terhadap bidang ekliptika, kurang terpengaruh secara langsung oleh pergeseran Titik Aries. Bidang ekliptika itu sendiri relatif stabil orientasinya dalam jangka pendek, meskipun juga mengalami perturbasi jangka panjang yang sangat lambat akibat pengaruh gravitasi planet-planet lain, namun efek ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan presesi ekuinoks.

Pergeseran Titik Aries juga memiliki implikasi pada kalender. Tahun tropis, yaitu interval waktu antara dua kali Matahari melintasi Titik Aries secara berurutan (yang menentukan siklus musim), menjadi sedikit lebih pendek daripada tahun sideris, yaitu waktu yang dibutuhkan Bumi untuk menyelesaikan satu orbit penuh mengelilingi Matahari relatif terhadap bintang-bintang tetap. Perbedaan ini, sekitar 20 menit per tahun, disebabkan karena Matahari "bertemu" dengan Titik Aries yang telah bergeser sedikit ke arah barat sebelum Bumi menyelesaikan satu putaran penuh 360° . Pemahaman akan perbedaan ini penting dalam desain kalender, seperti kalender Gregorian, yang bertujuan untuk menjaga sinkronisasi dengan musim (tahun tropis).

4.5 Variasi Tambahan: Nutasi

Selain gerakan presesi yang lambat dan berjangka panjang, sumbu rotasi Bumi juga mengalami variasi lain yang lebih kecil dan lebih cepat, yang dikenal sebagai nutasi. Fenomena ini menambahkan kompleksitas pada dinamika orientasi Bumi di ruang angkasa dan penting untuk diperhitungkan dalam pengukuran astronomi presisi tinggi.

4.5.1 Definisi Nutasi

Nutasi adalah gerakan goyangan atau osilasi periodik kecil yang melapisi (superimposed) gerakan presesi sumbu rotasi Bumi yang lebih besar dan lebih lambat. Jika presesi dapat divisualisasikan sebagai sumbu Bumi yang menggambarkan sebuah kerucut besar di langit selama ribuan tahun, maka nutasi dapat dibayangkan sebagai gelombang atau elips-elips kecil yang "dijalani" oleh sumbu tersebut di sepanjang jalur kerucut presesi. Dengan kata lain, gerakan presesi sumbu Bumi tidaklah mulus, melainkan sedikit bergelombang akibat nutasi.

4.5.2 Penyebab Nutasi

Penyebab nutasi, sama seperti presesi, adalah interaksi gravitasi antara Matahari dan Bulan dengan tonjolan ekuatorial Bumi. Namun, jika presesi timbul dari efek rata-rata jangka panjang dari torsi gravitasi ini, nutasi muncul dari variasi periodik jangka pendek dalam gaya-gaya tersebut. Variasi ini terjadi karena orbit Bumi mengelilingi Matahari

dan orbit Bulan mengelilingi Bumi keduanya berbentuk elips (bukan lingkaran sempurna) dan bidang orbit Bulan memiliki kemiringan sekitar $5,1^\circ$ terhadap bidang ekliptika.

Faktor utama yang menyebabkan komponen nutasi terbesar adalah presesi dari bidang orbit Bulan itu sendiri. Garis simpul (nodes) orbit Bulan, yaitu titik-titik di mana orbit Bulan memotong bidang ekliptika, mengalami presesi dengan periode sekitar 18,6 tahun. Perubahan orientasi orbit Bulan ini menyebabkan variasi periodik dalam torsi gravitasi yang diberikan Bulan pada tonjolan ekuator Bumi, yang pada gilirannya menghasilkan gerakan nutasi. Peran Bulan dalam menyebabkan nutasi sangat dominan, meskipun Matahari juga memberikan kontribusi. Hal ini disebabkan karena Bulan, meskipun jauh lebih kecil massanya dibandingkan Matahari, berada pada jarak yang jauh lebih dekat ke Bumi, sehingga gradien gaya gravitasinya (gaya pasang surut) yang bekerja pada tonjolan ekuatorial Bumi bisa sangat signifikan.

4.5.3 Periode dan Amplitudo Utama

Komponen nutasi yang paling signifikan, yang disebabkan oleh presesi simpul orbit Bulan, memiliki periode sekitar 18,6 tahun. Amplitudo dari gerakan nutasi ini relatif kecil dibandingkan dengan presesi. Konstanta nutasi, yang merupakan simpangan maksimum, adalah sekitar 9,2 detik busur untuk komponen yang mempengaruhi kemiringan ekliptika (disebut nutasi dalam obliquitas, $\Delta\epsilon$) dan sekitar 17,2 detik busur untuk komponen yang mempengaruhi posisi ekuinoks di sepanjang ekliptika (disebut nutasi dalam bujur, $\Delta\psi$). Terdapat juga banyak komponen nutasi lainnya dengan periode dan amplitudo yang lebih kecil, yang disebabkan oleh berbagai faktor periodik lainnya dalam sistem Bumi-Bulan-Matahari.

4.5.4 Pengaruh pada Pengukuran Presisi Tinggi

Meskipun amplitudonya kecil, nutasi memiliki pengaruh penting dalam astronomi presisi tinggi. Nutasi menyebabkan posisi "sebenarnya" (true position) dari ekuinoks vernal dan ekuator langit (dan akibatnya, posisi kutub langit) sedikit berbeda dari posisi "rata-rata" (mean position) yang hanya memperhitungkan efek presesi jangka panjang.

Oleh karena itu, untuk kalkulasi astronomi yang memerlukan akurasi sangat tinggi, seperti dalam navigasi wahana antariksa, penentuan posisi bintang yang sangat akurat untuk studi astrometri, geodesi satelit, dan penyusunan efemeris yang presisi, efek nutasi harus diperhitungkan sebagai koreksi. Posisi objek langit seringkali pada awalnya dinyatakan relatif terhadap ekuinoks dan ekuator *rata-rata* pada suatu epos tertentu (yang telah memperhitungkan presesi). Kemudian, koreksi untuk nutasi diterapkan

untuk mendapatkan posisi objek tersebut relatif terhadap ekuinoks dan ekuator *sebenarnya* pada tanggal dan waktu pengamatan yang spesifik.

Fenomena nutasi pertama kali ditemukan oleh astronom Inggris, James Bradley, pada pertengahan abad ke-18 (diumumkan sekitar tahun 1748). Penemuan ini merupakan hasil dari serangkaian pengamatan bintang yang sangat teliti selama bertahun-tahun, yang awalnya bertujuan untuk mengukur paralaks bintang tahunan namun secara tak terduga telah mengarah pada penemuan fenomena aberasi cahaya beberapa tahun sebelumnya.

Nutasi adalah contoh dari perturbasi (gangguan) orde kedua setelah presesi dalam dinamika rotasi Bumi. Ini mengilustrasikan bahwa gerakan benda-benda langit seringkali merupakan superposisi dari banyak efek periodik dengan skala waktu dan amplitudo yang berbeda. Memahami efek dominan (presesi) adalah langkah pertama, yang kemudian diikuti oleh pemahaman efek yang lebih kecil namun tetap signifikan (nutasi) untuk mencapai tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam model astronomi. Lebih jauh lagi, pengamatan nutasi yang sangat presisi tidak hanya penting untuk astronomi posisi tetapi juga memberikan informasi berharga tentang interior Bumi. Cara Bumi merespons torsi eksternal yang menyebabkan nutasi (tercermin dalam amplitudo dan fase komponen nutasi) bergantung pada distribusi massa internalnya dan bagaimana berbagai lapisan seperti inti dan mantel berinteraksi. Dengan membandingkan data pengamatan nutasi dengan model teoritis interior Bumi, para ilmuwan dapat menyempurnakan pemahaman tentang sifat-sifat fisik Bumi, seperti bentuk batas inti-mantel dan efek disipatif di dalamnya. Ini adalah contoh bagaimana studi fenomena astronomi dapat memberikan wawasan mendalam tentang geofisika planet kita.

4.6 Aplikasi Sistem Koordinat Ekliptika

Sistem koordinat ekliptika, dengan bidang ekliptika sebagai referensi fundamentalnya, memiliki aplikasi yang luas dan krusial dalam berbagai aspek astronomi, terutama yang berkaitan dengan objek-objek di dalam Tata Surya.

4.6.1 Studi Objek Tata Surya

Sistem koordinat ekliptika sangat cocok dan umum digunakan untuk menentukan, memetakan, dan memprediksi posisi serta jalur orbit planet-planet, komet, asteroid, dan objek trans-Neptunus (OTN) lainnya.

Alasan utama kesesuaian ini adalah karena sebagian besar planet (dari Merkurius hingga Neptunus) dan banyak benda kecil lainnya di Tata Surya memiliki orbit dengan

inklinasi (kemiringan orbit relatif terhadap bidang ekliptika) yang relatif kecil. Ini berarti bahwa lintang ekliptika (β) dari objek-objek ini umumnya bernilai kecil, mendekati 0° . Penggunaan sistem koordinat ekliptika menyederhanakan deskripsi matematis dan visualisasi orbit mereka. Kesesuaian ini bukan hanya masalah kemudahan konseptual tetapi juga membawa efisiensi dalam komputasi. Karena lintang ekliptika (β) seringkali kecil untuk objek-objek Tata Surya, suku-suku dalam persamaan gerak atau model perturbasi yang melibatkan fungsi trigonometri dari β (seperti $\sin(\beta)$) atau pangkat dari β (seperti β^2) akan bernilai kecil. Hal ini dapat menyederhanakan model matematika, memungkinkan penggunaan aproksimasi tertentu, dan mengurangi kompleksitas komputasi, terutama ketika menganalisis interaksi gravitasi yang rumit antara banyak benda dalam Tata Surya.

4.6.2 Prediksi Fenomena Astronomi

Sistem koordinat ekliptika digunakan secara ekstensif untuk menghitung dan memprediksi berbagai fenomena astronomi yang melibatkan interaksi posisi dan pergerakan objek-objek Tata Surya, sebagaimana diamati dari Bumi. Beberapa contoh fenomena penting meliputi:

- **Konjungsi:** Peristiwa ketika dua atau lebih benda langit tampak berada sangat berdekatan satu sama lain di langit dari sudut pandang pengamat di Bumi.
- **Oposisi:** Konfigurasi di mana sebuah planet luar (seperti Mars, Jupiter, atau Saturnus) berada pada sisi bola langit yang berlawanan dengan Matahari, jika dilihat dari Bumi. Pada saat oposisi, planet tersebut biasanya tampak paling terang dan berada pada jarak terdekatnya dengan Bumi.
- **Transit:** Peristiwa langka ketika sebuah planet dalam (Merkurius atau Venus) melintas tepat di depan piringan Matahari, jika dilihat dari Bumi.
- **Okultasi:** Peristiwa ketika sebuah benda langit tertutup (terhalangi pandangannya) oleh benda langit lain yang tampak lebih besar dan berada lebih dekat dengan pengamat. Contoh umum adalah okultasi bintang atau planet oleh Bulan.
- **Gerhana:** Fenomena yang terjadi akibat kesejajaran Matahari, Bumi, dan Bulan.
 - **Gerhana Matahari:** Terjadi ketika Bulan berada di antara Matahari dan Bumi, sehingga bayangan Bulan jatuh di sebagian permukaan Bumi. Ini hanya dapat terjadi pada fase Bulan baru dan ketika Bulan berada di dekat salah satu simpul orbitnya (perpotongan orbit Bulan dengan bidang ekliptika).
 - **Gerhana Bulan:** Terjadi ketika Bumi berada di antara Matahari dan Bulan, sehingga bayangan Bumi menutupi Bulan. Ini hanya dapat terjadi pada fase Bulan purnama dan ketika Bulan berada di dekat salah satu simpul orbitnya.

Kemampuan untuk secara akurat memprediksi waktu dan lokasi terlihatnya gerhana menggunakan koordinat ekliptika merupakan salah satu bukti kuat validitas model geometris Tata Surya dan pemahaman kita tentang orbit Bumi dan Bulan. Ketepatan prediksi gerhana telah menjadi salah satu pencapaian awal dan paling mengesankan dari astronomi matematis, yang sangat bergantung pada penentuan posisi Matahari dan Bulan yang presisi dalam kerangka ekliptika.

4.6.3 Perspektif Heliosentrik dan Geosentrik

Sistem koordinat ekliptika dapat digunakan dalam dua perspektif utama, yaitu heliosentrik dan geosentrik, yang keduanya menggunakan bidang ekliptika yang sama sebagai referensi fundamental; perbedaannya hanya terletak pada titik pusat atau origo koordinat.

- **Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik:** Dalam sistem ini, pusat koordinat adalah Matahari. Perspektif ini digunakan untuk mempelajari gerakan sebenarnya dari planet-planet, komet, asteroid, dan wahana antariksa saat mereka mengorbit Matahari. Dalam kerangka heliosentris, Bumi sendiri memiliki koordinat ekliptika (bujur dan lintang heliosentris) yang terus berubah seiring dengan revolusinya mengelilingi Matahari.
- **Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik:** Dalam sistem ini, pusat koordinat adalah Bumi. Perspektif ini digunakan untuk menggambarkan posisi dan gerakan tampak Matahari, Bulan, dan planet-planet sebagaimana diamati dari Bumi. Dalam kerangka geosentris, Matahari tampak bergerak sepanjang ekliptika, dan lintang ekliptiknya (β Matahari) secara definisi adalah 0° (atau sangat dekat dengan nol, hanya dipengaruhi oleh perturbasi kecil).

Kemampuan untuk beralih antara perspektif heliosentris dan geosentrik dalam kerangka ekliptika yang sama mencerminkan evolusi pemahaman astronomi dari model geosentris kuno ke model heliosentris modern, sambil tetap mempertahankan utilitas pengamatan praktis dari Bumi. Fleksibilitas konseptual ini menunjukkan bagaimana sistem koordinat ekliptika dapat mengakomodasi kebutuhan deskripsi fisika fundamental (gerak heliosentris) sekaligus prediksi kenampakan dari sudut pandang pengamat (gerak geosentris). Transformasi matematis antara kedua kerangka ini relatif sederhana jika jarak antara Bumi dan Matahari, serta jarak objek ke Matahari dan Bumi, diketahui.

4.7 Relasi dengan Sistem Koordinat Ekuatorial

Selain sistem koordinat ekliptika, sistem koordinat lain yang sangat fundamental dan sering digunakan dalam astronomi adalah sistem koordinat ekuatorial. Kedua sistem ini memiliki hubungan geometris yang erat dan masing-masing memiliki keunggulan dalam konteks aplikasi tertentu.

4.7.1 Perbandingan Dasar

Perbedaan mendasar antara sistem koordinat ekliptika dan ekuatorial terletak pada bidang referensi utama yang digunakan:

- **Sistem Koordinat Ekliptika:** Menggunakan **bidang ekliptika** (bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari atau jalur semu Matahari di langit) sebagai bidang referensi utama. Titik asal untuk pengukuran bujur adalah **Titik Aries**. Koordinat yang digunakan adalah **bujur ekliptika (λ)** dan **lintang ekliptika (β)**.
- **Sistem Koordinat Ekuatorial:** Menggunakan **bidang ekuator langit** (proyeksi ekuator Bumi ke bola langit) sebagai bidang referensi utama. Titik asal untuk pengukuran asensio rekta juga adalah **Titik Aries**. Koordinat yang digunakan adalah **asensio rekta (α)** dan **deklinasi (δ)**.

Meskipun bidang referensinya berbeda, kedua sistem ini memiliki kesamaan penting, yaitu penggunaan Titik Aries sebagai titik nol atau titik referensi untuk koordinat longitudinalnya (bujur ekliptika λ dan asensio rekta α). Kesamaan titik asal ini memegang peranan kunci dalam memfasilitasi transformasi matematis antara kedua sistem koordinat tersebut.

4.7.2 Koordinat Ekuatorial (Pengenalan Singkat)

Untuk memahami hubungan antara kedua sistem, penting untuk mengenal secara singkat koordinat dalam sistem ekuatorial:

- **Asensio Rekta (α atau AR):** Mengukur jarak sudut suatu objek di sepanjang ekuator langit, dihitung ke arah timur dari Titik Aries. Asensio rekta biasanya tidak dinyatakan dalam satuan derajat, melainkan dalam satuan waktu: **jam (h)**, **menit (m)**, dan **detik (s)**, dengan rentang dari 0 h hingga 24 h (di mana 24 h = 360°).
- **Deklinasi (δ atau Dek):** Mengukur jarak sudut suatu objek dari ekuator langit, diukur tegak lurus terhadap ekuator langit. Nilai deklinasi positif (+ δ) jika objek berada di utara ekuator langit (menuju kutub langit utara), dan negatif (- δ) jika objek berada di selatan ekuator langit (menuju kutub langit selatan). Rentang nilai deklinasi adalah dari 0° (di ekuator langit) hingga $\pm 90^\circ$ (di kutub langit utara/selatan).

4.7.3 Hubungan Geometris: Kemiringan Ekliptika (Oblikuitas, ϵ)

Hubungan geometris fundamental antara sistem koordinat ekliptika dan ekuatorial ditentukan oleh sudut yang dibentuk antara kedua bidang referensi utama mereka. Bidang ekliptika dan bidang ekuator langit tidaklah sejajar, melainkan membentuk sudut yang disebut **kemiringan ekliptika** atau **oblikuitas ekliptika**, yang biasa dilambangkan dengan huruf Yunani epsilon (ϵ).

Nilai kemiringan ekliptika ini adalah sekitar $23,4^\circ$ hingga $23,5^\circ$. Lebih tepatnya, untuk epos standar J2000.0, nilai oblikuitas rata-rata adalah $23^\circ 26' 21.406''$. Penting untuk dicatat bahwa nilai ϵ ini tidaklah konstan secara absolut. Ia mengalami perubahan yang sangat lambat seiring waktu akibat perturbasi gravitasi dari planet-planet lain pada orbit Bumi, dan juga sedikit dipengaruhi oleh fenomena nutasi dalam jangka pendek. Kemiringan sumbu rotasi Bumi inilah (yang menghasilkan oblikuitas ϵ) yang menjadi penyebab utama terjadinya perubahan musim di Bumi. Tanpa kemiringan ini ($\epsilon=0^\circ$), bidang ekliptika dan ekuator langit akan berimpit, tidak akan ada musim, dan kedua sistem koordinat tersebut akan menjadi identik. Dengan demikian, oblikuitas ϵ bukan hanya sekadar parameter geometris; ia adalah jembatan konseptual yang menghubungkan pengalaman kita sehari-hari tentang pergerakan Matahari dan siklus musim (yang terkait erat dengan ekuator Bumi dan sistem ekuatorial) dengan bidang fundamental tempat Tata Surya kita berada (bidang ekliptika).

4.7.4 Transformasi Koordinat

Dengan mengetahui nilai kemiringan ekliptika (ϵ) dan karena kedua sistem berbagi Titik Aries sebagai titik asal longitudinal, adalah mungkin untuk melakukan transformasi matematis koordinat suatu objek dari sistem ekliptika (λ, β) ke sistem ekuatorial (α, δ), dan sebaliknya. Transformasi ini menggunakan rumus-rumus dari trigonometri bola.

Sebagai contoh konseptual, rumus untuk mengubah koordinat ekuatorial (α, δ) menjadi koordinat ekliptika (λ, β) adalah sebagai berikut (dengan ϵ adalah kemiringan ekliptika):

- $\sin(\beta) = \sin(\delta) \cos(\epsilon) - \cos(\delta) \sin(\epsilon) \sin(\alpha)$
- $\cos(\beta) \cos(\lambda) = \cos(\delta) \cos(\alpha)$
- $\cos(\beta) \sin(\lambda) = \sin(\delta) \sin(\epsilon) + \cos(\delta) \cos(\epsilon) \sin(\alpha)$

Dan rumus sebaliknya juga ada untuk transformasi dari (λ, β) ke (α, δ). Kemampuan untuk bertransformasi antara kedua sistem ini sangat penting dalam praktik astronomi. Pengamatan astronomi seringkali dilakukan atau dicatat dalam kerangka ekuatorial (misalnya, banyak teleskop modern memiliki mounting ekuatorial yang memudahkan

pelacakan objek langit berdasarkan α dan δ). Namun, studi dinamika orbit objek-objek Tata Surya, seperti planet dan komet, lebih alami dan seringkali lebih sederhana jika dianalisis dalam kerangka ekliptika.

Fakta bahwa kedua sistem berbagi Titik Aries sebagai titik nol bujur/asensio rekta adalah kunci untuk transformasi yang konsisten. Namun, karena Titik Aries sendiri bersifat dinamis (bergeser akibat presesi ekuinoks), ini berarti hubungan geometris antara kedua sistem juga berubah seiring waktu. Oleh karena itu, setiap transformasi koordinat yang akurat harus selalu merujuk pada epos (titik waktu) tertentu di mana nilai ϵ dan posisi Titik Aries didefinisikan.

4.7.5 Konteks Penggunaan

Pemilihan antara sistem koordinat ekliptika dan ekuatorial seringkali bergantung pada konteks aplikasi dan jenis objek yang diamati:

- **Sistem Koordinat Ekliptika:** Lebih disukai dan lebih intuitif untuk mempelajari objek-objek di dalam Tata Surya (planet, komet, asteroid, dll.) karena orbit mayoritas objek ini memiliki inklinasi yang kecil terhadap bidang ekliptika. Sistem ini sangat berguna untuk memprediksi fenomena seperti gerhana, konjungsi, oposisi, dan transit, yang sangat bergantung pada posisi relatif objek Tata Surya terhadap bidang orbit Bumi.
- **Sistem Koordinat Ekuatorial:** Lebih umum digunakan untuk katalogisasi bintang-bintang dan objek-objek langit dalam (deep-sky objects) yang berada di luar Tata Surya. Hal ini karena koordinat ekuatorial (α, δ) sebuah bintang relatif tetap terhadap ekuator Bumi dalam jangka waktu yang cukup lama (setelah memperhitungkan efek presesi, nutasi, dan gerak diri bintang). Sistem ini sangat praktis untuk keperluan pengamatan dari Bumi, kalibrasi instrumen, dan pengarahan teleskop. Selain itu, sistem ekuatorial juga fundamental dalam perhitungan yang berkaitan dengan waktu, seperti penentuan waktu sideris dan perhitungan waktu-waktu ibadah (misalnya, waktu salat dalam Islam) yang bergantung pada posisi Matahari relatif terhadap ekuator langit dan horison lokal pengamat.

Berikut adalah tabel yang merangkum perbandingan utama antara kedua sistem koordinat ini:

Tabel 1: Perbandingan Sistem Koordinat Ekliptika dan Ekuatorial

Fitur	Sistem Koordinat Ekliptika	Sistem Koordinat Ekuatorial
Bidang Dasar/Referensi Utama	Bidang Ekliptika	Ekuator Langit
Titik Asal/Referensi Longitudinal	Titik Aries (Ekuinoks Vernal)	Titik Aries (Ekuinoks Vernal)
Koordinat Longitudinal	Bujur Ekliptika (λ)	Asensio Rekta (α)
	0° hingga 360°	0h hingga 24h
	Diukur ke arah timur dari Titik Aries sepanjang ekliptika	Diukur ke arah timur dari Titik Aries sepanjang ekuator langit
Koordinat Latitudinal	Lintang Ekliptika (β)	Deklinasi (δ)
	-90° (Selatan) hingga +90° (Utara)	-90° (Selatan) hingga +90° (Utara)
	Diukur tegak lurus dari bidang ekliptika	Diukur tegak lurus dari ekuator langit
Kutub Referensi	Kutub Ekliptika Utara (KUE) & Selatan (KES)	Kutub Langit Utara (KLU) & Selatan (KLS)
Penggunaan Utama/Konteks Aplikasi	Objek Tata Surya (planet, komet, asteroid), prediksi gerhana, konjungsi, studi dinamika orbital dalam Tata Surya.	Katalog bintang, objek langit dalam, pengarahan teleskop, perhitungan waktu (sideris, waktu ibadah).

*Sumber data untuk tabel: *

4.8 Pentingnya Epos Standar dalam Astronomi

[Daftar Isi](#)

Dalam astronomi, pengukuran posisi benda langit memerlukan presisi yang sangat tinggi. Mengingat sifat dinamis dari kerangka acuan fundamental seperti sistem ekliptika dan ekuatorial, yang dipengaruhi oleh fenomena seperti presesi dan nutasi, penggunaan titik waktu referensi standar yang disebut **epos** menjadi sangat krusial.

4.8.1 Konsep Epos Referensi

Epos (epoch) dalam astronomi didefinisikan sebagai suatu momen waktu spesifik yang digunakan sebagai titik referensi untuk berbagai kuantitas astronomi yang berubah seiring waktu. Kuantitas ini meliputi koordinat langit (seperti bujur dan lintang ekliptika, atau asensio rekta dan deklinasi) dan elemen-elemen orbit suatu benda langit (seperti inklinasi, bujur simpul naik, dll.).

Kebutuhan akan epos muncul karena fenomena seperti presesi ekuinoks menyebabkan pergeseran kontinu pada orientasi bidang ekuator langit dan, akibatnya, posisi Titik Aries sebagai titik referensi utama. Pergeseran ini berarti bahwa koordinat langit suatu objek akan berubah seiring waktu, bahkan jika objek itu sendiri (misalnya, bintang yang sangat jauh) tidak bergerak secara signifikan relatif terhadap bintang-bintang latar belakang lainnya. Oleh karena itu, untuk memastikan konsistensi, komparabilitas, dan akurasi data astronomi yang dikumpulkan pada waktu yang berbeda dan oleh pengamat yang berbeda, koordinat harus selalu dikaitkan dengan epos tertentu. Epos berfungsi sebagai cara untuk "membekukan sementara" kerangka acuan pada suatu titik waktu tertentu. Semua pengukuran kemudian dapat dikonversi ke atau dari kerangka acuan standar ini, memungkinkan perbandingan yang berarti meskipun sistem referensi itu sendiri terus berubah.

4.8.1 Contoh Epos Utama

Beberapa epos standar telah digunakan dalam sejarah astronomi, dengan standar yang lebih baru menggantikan yang lama seiring dengan peningkatan presisi pengukuran dan kebutuhan komputasi. Beberapa contoh epos utama meliputi:

- **J2000.0:** Ini adalah epos standar yang saat ini paling banyak digunakan dalam astronomi modern. J2000.0 merujuk secara presisi pada tanggal 1 Januari 2000, pukul 12:00 Waktu Terrestrial (TT, Terrestrial Time). Ini setara dengan Tanggal Julian (JD) 2451545.0 TT. Awalan "J" dalam J2000.0 menunjukkan bahwa ini adalah epos Julian.
- **B1950.0:** Ini adalah epos standar yang digunakan secara luas sebelum adopsi J2000.0. B1950.0 merujuk pada awal tahun Besselian 1950.0, yang setara dengan JD 2433282.4235 TT. Awalan "B" menunjukkan bahwa ini adalah epos Besselian.

- **Epos Historis Lainnya:** Sebelum B1950.0, epos lain juga digunakan, seperti **B1900.0** (digunakan dalam katalog bintang penting seperti Henry Draper Catalog) dan **B1875.0** (yang digunakan sebagai dasar untuk pendefinisian batas-batas resmi 88 konstelasi oleh International Astronomical Union (IAU) pada tahun 1930).

4.8.2 Mengatasi Efek Presesi dan Nutasi

Penggunaan epos standar adalah kunci untuk mengatasi kompleksitas yang ditimbulkan oleh presesi ekuinoks dan nutasi:

1. **Konsistensi dan Komparabilitas Data:** Dengan merujuk semua pengamatan, katalog bintang, dan efemeris ke epos standar yang sama (misalnya, J2000.0), para astronom di seluruh dunia dapat memastikan bahwa data dari berbagai sumber, instrumen, dan periode waktu dapat dibandingkan secara konsisten dan akurat.
2. **Koreksi untuk Presesi:** Untuk mengubah koordinat suatu objek dari satu epos ke epos lain (misalnya, dari B1950.0 ke J2000.0), atau untuk menghitung posisi objek pada "ekuinoks tanggal" (yaitu, posisi sebenarnya pada saat pengamatan tertentu) dari koordinat pada epos standar, perhitungan matematis yang memperhitungkan efek presesi kumulatif selama interval waktu tersebut harus diterapkan.
3. **Memperhitungkan Nutasi:** Epos standar seperti J2000.0 biasanya mendefinisikan posisi "ekuinoks dan ekuator rata-rata" (mean equinox and equator). Dalam definisi ini, efek osilasi jangka pendek dari nutasi telah dirata-ratakan atau dihilangkan untuk menyederhanakan kerangka acuan jangka panjang. Namun, untuk pengamatan atau perhitungan yang memerlukan presisi tertinggi pada tanggal dan waktu tertentu, koreksi tambahan untuk nutasi harus diterapkan pada koordinat rata-rata untuk mendapatkan posisi relatif terhadap "ekuinoks dan ekuator sebenarnya" (true equinox and equator of date).
4. **Memperhitungkan Gerak Diri Bintang:** Selain presesi dan nutasi yang mempengaruhi orientasi kerangka acuan itu sendiri, bintang-bintang (terutama yang relatif dekat dengan Tata Surya) juga memiliki gerakan individu melintasi langit relatif terhadap bintang-bintang latar belakang yang lebih jauh. Gerakan ini disebut gerak diri (proper motion). Epos juga penting dalam konteks ini. Katalog bintang biasanya mencantumkan koordinat bintang pada epos tertentu (misalnya, J2000.0) beserta komponen gerak dirinya (misalnya, dalam satuan detik busur per tahun untuk asensio rekta dan deklinasi). Untuk menemukan posisi akurat sebuah bintang pada epos pengamatan yang berbeda dari epos katalog, astronom harus memperhitungkan baik efek presesi (dan nutasi jika diperlukan) untuk mengubah

kerangka acuan, maupun efek kumulatif dari gerak diri bintang selama interval waktu antara kedua epos tersebut.

4.8.3 Perbedaan Epos Julian dan Besselian

Dua jenis utama epos yang telah digunakan dalam astronomi adalah epos Julian dan epos Besselian:

- **Epos Julian (dilambangkan dengan "J"):** Didasarkan pada tahun Julian, yang didefinisikan memiliki panjang tepat 365,25 hari. Penggunaan tahun dengan panjang tetap ini menyederhanakan perhitungan dan manajemen data. Sejak tahun 1984, epos Julian lebih disukai dan telah menjadi standar internasional, dengan J2000.0 sebagai contoh utamanya.
- **Epos Besselian (dilambangkan dengan "B"):** Didasarkan pada tahun Besselian, yang merupakan aproksimasi dari tahun tropis (panjangnya sekitar 365,24219 hari). Secara spesifik, tahun Besselian diukur dari saat ketika bujur rata-rata Matahari, setelah dikurangi aberasi, adalah tepat 280° . Karena panjang tahun tropis itu sendiri sedikit bervariasi dan definisinya lebih rumit, epos Besselian kurang praktis untuk komputasi modern dibandingkan epos Julian. Epos Besselian dominan digunakan secara historis tetapi sebagian besar telah digantikan.

Peralihan dari penggunaan epos Besselian ke epos Julian mencerminkan kemajuan berkelanjutan dalam definisi waktu dan upaya komunitas astronomi untuk menyederhanakan serta meningkatkan presisi dan konsistensi dalam praktik astronomi global.

Berikut adalah tabel yang memberikan contoh beberapa epos standar dan karakteristiknya:

Tabel 2: Contoh Epos Standar Astronomi dan Karakteristiknya

Nama Epos	Definisi Waktu Tepat (Tanggal dan Skala Waktu)	Tipe Epos	Catatan Signifikan/Penggunaan
J2000.0	1 Januari 2000, 12:00 TT (JD 2451545.0 TT)	Julian	Epos standar yang digunakan saat ini secara luas untuk sebagian besar data dan katalog

			astronomi.
B1950.0	0.9235 Januari 1950 TT (JD 2433282.4235 TT)	Besselian	Epos standar yang banyak digunakan sebelum J2000.0; masih ditemui dalam literatur dan data lama.
B1900.0	0.8135 Januari 1900 TT (JD 2415020.3135 TT)	Besselian	Digunakan dalam beberapa katalog bintang historis penting, seperti Henry Draper Catalog.
B1875.0	Sekitar awal tahun 1875	Besselian	Digunakan sebagai epos referensi untuk pendefinisian batas-batas resmi 88 konstelasi oleh IAU.

*Sumber data untuk tabel: *

4.9 Kesimpulan

Sistem koordinat ekliptika, dengan bujur ekliptika (λ) dan lintang ekliptika (β) sebagai komponen utamanya, merupakan kerangka acuan yang tak ternilai dalam astronomi. Berpusat pada bidang ekliptika—jalur semu Matahari atau bidang orbit Bumi—dan menggunakan Titik Aries sebagai titik referensi longitudinal, sistem ini menyediakan cara yang intuitif dan efisien untuk memetakan dan menganalisis pergerakan benda-benda langit, khususnya di dalam Tata Surya kita.

Namun, pemahaman yang komprehensif terhadap sistem koordinat ekliptika harus mengakui sifat dinamisnya. Fenomena presesi ekuinoks, yang disebabkan oleh interaksi gravitasi Matahari dan Bulan dengan tonjolan ekuatorial Bumi, menyebabkan pergeseran lambat namun pasti pada Titik Aries dan orientasi ekuator langit. Lebih lanjut, nutasi—goyangan periodik kecil yang melapisi presesi—menambahkan lapisan

kompleksitas lain yang signifikan untuk pengukuran presisi tinggi. Dinamika ini menggarisbawahi mengapa penggunaan epos standar, seperti J2000.0, menjadi sangat krusial. Epos menyediakan titik waktu referensi yang tetap, memungkinkan konsistensi dan komparabilitas data astronomi yang dikumpulkan lintas waktu dan lokasi, serta memfasilitasi koreksi yang diperlukan untuk efek presesi dan nutasi.

Aplikasi sistem koordinat ekliptika sangat luas, mulai dari studi detail orbit planet, komet, dan asteroid, hingga prediksi akurat fenomena langit yang menakjubkan seperti gerhana, konjungsi, dan transit. Hubungannya yang erat dengan sistem koordinat ekuatorial, yang dihubungkan melalui kemiringan ekliptika (ϵ) dan Titik Aries, memungkinkan transformasi antar kedua sistem, masing-masing dengan keunggulan aplikatifnya sendiri—ekliptika untuk dinamika Tata Surya, dan ekuatorial untuk pemetaan langit secara umum dan pengamatan dari Bumi.

Pada akhirnya, pemahaman yang rinci tentang definisi, komponen, dinamika, aplikasi, dan keterkaitan sistem koordinat ekliptika dengan kerangka acuan lainnya adalah fundamental bagi kemajuan dalam berbagai cabang ilmu astronomi. Sistem ini terus menjadi dasar bagi eksplorasi kita terhadap kosmos, memungkinkan kita untuk tidak hanya memahami posisi dan pergerakan benda-benda langit dengan lebih baik, tetapi juga untuk mengungkap hukum-hukum fisika yang mengatur alam semesta.

Karya yang dikutip

1. Astronomi: Pengertian, Ruang Lingkup dan Pentingnya bagi Umat ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/hikmah/khazanah/d-7306742/ilmu-falak-pengertian-ruang-lingkup-dan-pentingnya-bagi-umat-islam>
2. (PDF) The Study of Falak Science in the Qur'an: Analytical Study of ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/357970067_The_Study_of_Falak_Science_in_the_Qur'an_Analytical_Study_of_Tafsir_Al-Misbah
3. jim.usk.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jim.usk.ac.id/sejarah/article/viewFile/29307/13610>
4. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining ... - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukyat-in-hilal-determination>
5. Islamic calendar - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_calendar
6. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining Astronomy and Rukyat in Hilal Determination - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/122413/menentukan-awal-bulan-hijriah-kombinasi-ilmu-astronomi-dan-rukyat-dalam-penetapan-hilal>
7. The Islamic Calendar - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/islamic>
8. Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and Hisab Hakiki Wujudul Hilal Disputes for Muslims in Indonesia - Pharos Journal of Theology, diakses Mei 10, 2025, https://www.pharosjot.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_10_105_2_april_in_donesia.pdf
9. Islamic Calendar - Time and Date, diakses Mei 10, 2025, <https://www.timeanddate.com/calendar/islamic-calendar.html>
10. Hijri - (Intro to Humanities) - Vocab, Definition, Explanations | Fiveable, diakses Mei 10, 2025, <https://library.fiveable.me/key-terms/introduction-humanities/hijri>
11. Understanding the Islamic Calendar | Yusuf / Cat Stevens, diakses Mei 10, 2025, <https://catstevens.com/think/spiritual-domain/understanding-the-islamic-calendar/>
12. The Hejira, or Islamic Calendar - Helen Ziegler, diakses Mei 10, 2025, <https://www.hziegler.com/articles/hejira-islamic-calendar.html>
13. ASTRONOMI, diakses Mei 10, 2025, https://kinerja.iainmadura.ac.id/dokumenbkd/20212U0046464642_115.pdf
14. Qibla observation by shadows - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Qibla_observation_by_shadows
15. Islamic Astronomy (Chapter 4) - The Cambridge History of Science, diakses Mei 10, 2025, <https://www.cambridge.org/core/books/cambridge-history-of->

- [science/islamic-astronomy/DBE63FFD4918F948F362A66DE721C022](https://science.islamic-astronomy/DBE63FFD4918F948F362A66DE721C022)
16. INTEGRASI ASTRONOMI DAN ASTRONOMI DALAM MATERI HISAB AWAL BULAN DAN RUKYATUL HILAL DI MAN 2 BLITAR, diakses Mei 10, 2025, http://digilib.uinsa.ac.id/62604/2/Muhammad%20Hafizh%20Hilmi_CO6219022.pdf
 17. DEVELOPMENT OF A PYTHON-BASED POSITION CALCULATION ..., diakses Mei 10, 2025, <https://online-journal.unja.ac.id/EDP/article/view/29053>
 18. [1807.04806] Use of Python programming language in astronomy and science - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/1807.04806>
 19. Top 10 Python Libraries for Data Analytics - Noble Desktop, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nobledesktop.com/classes-near-me/blog/top-python-libraries-for-data-analytics>
 20. (PDF) Python for Scientific Computing - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/3422935_Python_for_Scientific_Computing
 21. jurnal.ar-raniry.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/substantia/article/download/7664/pdf>
 22. ISLAM DAN KONTRIBUSINYA TERHADAP PERKEMBANGAN ILMU PENGETAHUAN - Jurnal Intelek Dan Cendekiawan Nusantara, diakses Mei 10, 2025, <https://jicnusanantara.com/index.php/jicn/article/download/1047/1181>
 23. journals.iium.edu.my, diakses Mei 10, 2025, <https://journals.iium.edu.my/revival/index.php/revival/article/download/400/287/1480>
 24. Astronomical Innovation in the Islamic World | Modeling the Cosmos | Articles and Essays | Finding Our Place in the Cosmos: From Galileo to Sagan and Beyond | Digital Collections | Library of Congress, diakses Mei 10, 2025, <https://www.loc.gov/collections/finding-our-place-in-the-cosmos-with-carl-sagan/articles-and-essays/modeling-the-cosmos/astronomical-innovation-in-the-islamic-world>
 25. Astronomy in the medieval Islamic world - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomy_in_the_medieval_Islamic_world
 26. The Contribution of Muslims to Science During the Middle Abbasid Period (750-945), diakses Mei 10, 2025, <https://muslimheritage.com/middle-abbasid-period/>
 27. Science and Innovation in the Islamic Golden Age and their Global Impact - Open Journal Systems, diakses Mei 10, 2025, <https://www.pdpjournals.org/index.php/jic/article/download/3/13>
 28. Theme: Islamic astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://web.astronomicalheritage.net/show-theme?idtheme=15>
 29. (PDF) Tracing the History of Astrolabe Inventions Across Civilisations - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/301623673_Tracing_the_History_of_Astrolabe_Inventions_Across_Civilisations

30. Islamic Astronomy - Refining the Works of Ptolemy - Explorable.com, diakses Mei 10, 2025, <https://explorable.com/islamic-astronomy>
31. Astrolabe - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Astrolabe>
32. Islamic Golden Age - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_Golden_Age#Astronomy
33. The Arab revival of the Islamic Golden Era, diakses Mei 10, 2025, <https://thenational.shorthandstories.com/the-arab-revival-of-the-islamic-golden-era/>
34. Al-Khwarizmi - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Khwarizmi>
35. The Astronomical Calculations and Ramadan - Thoughts - Alukah, diakses Mei 10, 2025, <https://en.alukah.net/Shariah/4/7417/>
36. Al-Battānī | Astronomy, Mathematics, Calculation - Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/biography/al-Battani>
37. ISLAMIC GOLDEN AGE AND BEYOND - Brill, diakses Mei 10, 2025, <https://brill.com/display/book/9789463008938/BP000026.pdf>
38. Quranic Inspiration and the Rise of Astronomy and Mathematics in the Islamic Golden Age, diakses Mei 10, 2025, <https://thequran.love/2025/03/11/13244/>
39. Contribution of early Muslims to the field of astronomy - QP, diakses Mei 10, 2025, <https://www.quranproject.org/Contribution-of-early-Muslims-to-the-field-of-astronomy-478-d>
40. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Khwarizmi#:~:text=Al%2DKhwarizmi%20revised%20Geography%2C%20the,the%20astrolabe%20and%20the%20sundial.>
41. Zij - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Zij>
42. Rub' - Brill - Reference Works, diakses Mei 10, 2025, <https://referenceworks.brill.com/display/entries/EIEO/SIM-6317.xml>
43. Scientists Who Made A Difference: Nasir al-Din Tusi (1201-1274 ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.azer.com/aiweb/categories/magazine/42_folder/42_articles/42_m_aragha.html
44. Ulugh Beg Observatory - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Ulugh_Beg_Observatory
45. (PDF) Observatories - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/378401513_Observatories
46. Starry Messenger: Astronomical Tables - Department of History and Philosophy of Science |, diakses Mei 10, 2025, <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/tables.html>
47. Islamic Astronomy of Abbasid Era (750-1258 AD), diakses Mei 10, 2025, <https://ejournal.uinsaizu.ac.id/index.php/jihm/article/download/5944/2752/17155>
48. The Science Education and History of Ulugh Beg: Astronomer and

Mathematician from Samarkand, Uzbekistan - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/391473454_The_Science_Education_and_History_of_Ulugh_Beg_Astronomer_and_Mathematician_from_Samarkand_Uzbekistan

49. al-Battani - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Battani>
50. Brief History of Timing Analysis - Imagine the Universe! - NASA, diakses Mei 10, 2025, https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/timing_history.html
51. Hukum Gerak Planet Kepler: Bunyi, Rumus, dan Contoh Soal - Pijar Article, diakses Mei 10, 2025, <https://www.pijarbelajar.id/blog/hukum-gerak-planet-kepler>
52. Hukum Kepler 1, 2, 3 serta Hubungannya dengan Hukum Newton - Gramedia, diakses Mei 10, 2025, <https://www.gramedia.com/literasi/hukum-kepler/>
53. Keplerian Elements Tutorial - AMSAT, diakses Mei 10, 2025, <https://www.amsat.org/keplerian-elements-tutorial/>
54. Keplerian Orbital Elements - The Oikofuge, diakses Mei 10, 2025, <https://oikofuge.com/keplerian-orbital-elements/>
55. Earth's orbit - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_orbit
56. The Ecliptic: the Sun's Annual Path on the Celestial Sphere, diakses Mei 10, 2025, https://astro.dur.ac.uk/~ams/users/solar_year.html
57. What Is the Ecliptic? - Sky & Telescope, diakses Mei 10, 2025, <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/what-is-the-ecliptic/>
58. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Ecliptic_coordinate_system#:~:text=In%20astronomy%2C%20the%20ecliptic%20coordinate,orientations%20of%20Solar%20System%20objects.
59. International Celestial Reference System (ICRS) - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/ICRS_doc
60. Precession and Nutation, diakses Mei 10, 2025, <https://www2.mps.mpg.de/homes/fraenz/systems/systems3art/node3.html>
61. Earth Fact Sheet, diakses Mei 10, 2025, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>
62. Equinox (celestial coordinates) - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_\(celestial_coordinates\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_(celestial_coordinates))
63. Computing Approximate Solar Coordinates, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/sun_approx
64. Astronomical Algorithms, diakses Mei 10, 2025, <http://www.geoastro.de/sunpos/meeus.html>
65. Meeus Solar Position Calculations / Dan Smith - Observable, diakses Mei 10, 2025, <https://observablehq.com/@danleesmith/meeus-solar-position-calculations>

66. Astronomical Algorithms: 9780943396613: Meeus, Jean: Books - Amazon.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.amazon.com/Astronomical-Algorithms-Jean-Meeus/dp/0943396611>
67. (PDF) July 16, 622: Calculation of the Islamic epoch - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/382249804_July_16_622_Calculation_of_the_Islamic_epoch
68. Modified Julian Dates, diakses Mei 10, 2025, <https://core2.gsfc.nasa.gov/time/>
69. Period, Julian - Stellar Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.tidjma.tn/astro/period--julian/>
70. Converting Between Julian Dates and Gregorian Calendar Dates, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/JD_formula
71. UNIVERSAL TIME (UT) JULIAN DATE (JD) DOING THE MATH Chapter 5 - aavso, diakses Mei 10, 2025, https://www.aavso.org/sites/default/files/publications_files/manual/english_2013/Chapter5-2013.pdf
72. Julian Day Calculations (Gregorian Calendar) - Bill Jefferys, diakses Mei 10, 2025, <https://quasar.as.utexas.edu/BillInfo/JulianDatesG.html>
73. diakses Januari 1, 1970, https://www.iau.org/public/themes/measuring_time/
74. Elliptical Lunar Frozen Orbit Constellation Design within a Model of Evolving Fidelity - College of Engineering - Purdue University, diakses Mei 10, 2025, https://engineering.purdue.edu/people/kathleen.howell.1/Publications/Conferences/2025_AAS_ParHowSte.pdf
75. Orbit of the Moon - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Orbit_of_the_Moon
76. Astronomical Almanac For The Year 2025 | U.S. Government Bookstore, diakses Mei 10, 2025, <https://bookstore.gpo.gov/products/astronomical-almanac-year-2025>
77. The Astronomical Almanac - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/publications/asa>
78. 1 CHAPTER 10 COMPUTATION OF AN EPHEMERIS 10.1 Introduction The entire enterprise of determining the orbits of planets, asteroid, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astro.uvic.ca/~tatum/celmechs/celm10.pdf>
79. Astronomical Algorithms - Jean Meeus (1991) : Umair Mirza : Free Download, Borrow, and Streaming, diakses Mei 10, 2025, <https://archive.org/details/astronomicalalgorithmsjeanmeeus1991/page/n35/mode/2up>
80. Astronomical Algorithms: Meeus, Jean - Amazon.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.amazon.com/Astronomical-Algorithms-Jean-Meeus/dp/0943396352>
81. Description of methods and algorithms | observability.date, diakses Mei 10, 2025, <https://iris-observability.lam.fr/notes.php>
82. Geocentric Moon | PDF | Latitude | Scientific Observation - Scribd, diakses Mei

- 10, 2025, <https://www.scribd.com/document/218305938/Geocentric-Moon>
83. How to calculate the Moon's Longitude or Moon's Ecliptic Topocentric?, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/58138/how-to-calculate-the-moons-longitude-or-moons-ecliptic-topocentric>
84. Evection - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Evection>
85. Astronomical Algorithms - Jean Meeus (1991) : Umair Mirza : Free Download, Borrow, and Streaming - Internet Archive, diakses Mei 10, 2025, <https://archive.org/details/astronomicalalgorithmsjeanmeeus1991/page/n329/mode/2up>
86. Simplified perturbations models - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Simplified_perturbations_models
87. Precision timekeeping | Astronomy.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astronomy.com/science/precision-timekeeping/>
88. physics.weber.edu, diakses Mei 10, 2025, <https://physics.weber.edu/palen/phsx1040/Lectures/Ltimescales.html#:~:text=Back%20in%20the%20day%2C%20the,%2C%20one%20month%2C%20one%20day.>
89. Dates and time scales - sourceforge, diakses Mei 10, 2025, https://sourceforge.isae.fr/svn/dcas-soft-espace/support/softs/CelestLab/trunk/help/en_US/scilab_en_US_help/Dates%20and%20time%20scales.html
90. The Equation of Time - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/eqtime>
91. Solar time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_time
92. Azimut - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Azimut>
93. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_time#:~:text=The%20equation%20of%20time%20describes,motion%20along%20the%20celestial%20equator.
94. en.wikipedia.org, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_time#:~:text=Apparent%20solar%20time%20or%20true,crudely%20measured%20by%20a%20sundial.
95. Apparent solar time | chronology | Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/apparent-solar-time>
96. Leap second - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Leap_second
97. Solar -v- Civil Mean Time - The Equation of Time, diakses Mei 10, 2025, <https://equation-of-time.info/why-is-solar-time-different-from-civil-mean-time>
98. www.britannica.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/mean-solar->

[time#:~:text=by%20a%20sundial.-](#)

[.Mean%20solar%20time%2C%20kept%20by%20most%20clocks%20and%20watches%2C%20is,that%20depends%20on%20the%20seasons.](#)

99. Universal Time - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/UT>
100. Time Scales: UT1, UTC, TAI, ET, TT, GPS time - Paul Schlyter, diakses Mei 10, 2025, <https://stjarnhimlen.se/comp/time.html>
101. Definitions of Systems of Time - CNMOC, diakses Mei 10, 2025, <https://www.cnmoc.usff.navy.mil/Our-Commands/United-States-Naval-Observatory/Precise-Time-Department/The-USNO-Master-Clock/Definitions-of-Systems-of-Time/>
102. www.atlas.aei.uni-hannover.de, diakses Mei 10, 2025, https://www.atlas.aei.uni-hannover.de/work/yifan.wang/more_ringdown/env/env-timelabel/lib64/python3.7/site-packages/astropy/time/core.py
103. A Brief Note on Time Systems - OSU Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astronomy.ohio-state.edu/pogge.1/Ast350/timesys.html>
104. Leap Seconds FAQs | NIST, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/leap-seconds-faqs>
105. How UTC offsets affect datetime expressions - HighBond, diakses Mei 10, 2025, https://help.highbond.com/helpdocs/analytics/15/en-us/Content/analytics/data_preparation/expressions/how_utc_offsets_affect_datetime_expressions.htm
106. What is UTC? How can I use it to observe objects? - Celestron, diakses Mei 10, 2025, <https://www.celestron.com/blogs/knowledgebase/what-is-utc-how-can-i-use-it-to-observe-objects>
107. USNO Circular 179 - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/publications/Circular_179
108. (PDF) Naval Observatory Vector Astrometry Software (NOVAS) Version 3.0 - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/234320947_Naval_Observatory_Vector_Astrometry_Software_NOVAS_Version_30
109. Pyplot tutorial — Matplotlib 3.10.3 documentation, diakses Mei 10, 2025, <https://matplotlib.org/stable/tutorials/pyplot.html>
110. Leap Seconds - CNMOC, diakses Mei 10, 2025, <https://www.cnmoc.usff.navy.mil/Our-Commands/United-States-Naval-Observatory/Precise-Time-Department/Global-Positioning-System/USNO-GPS-Time-Transfer/Leap-Seconds/>
111. help.highbond.com, diakses Mei 10, 2025, https://help.highbond.com/helpdocs/analytics/15/en-us/Content/analytics/data_preparation/expressions/how_utc_offsets_affect_datetime_expressions.htm#:~:text=A%20UTC%20offset%20is%20the,is%20UTC%20B100%3A00.
112. spsweb.fltops.jpl.nasa.gov, diakses Mei 10, 2025,

- https://spsweb.fltops.jpl.nasa.gov/portaldataops/mpg/MPG_Docs/MPG%20Book/Release/Chapter2-TimeScales.pdf
113. Terrestrial Time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Time
 114. Terrestrial Time (TT) - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/TT>
 115. Barycentric Dynamical Time - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Barycentric_Dynamical_Time
 116. GregorianCalendar (Java Platform SE 8) - Oracle Help Center, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/GregorianCalendar.html>
 117. Ecliptic coordinate system - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Ecliptic_coordinate_system
 118. BAB II LANDASAN TEORI A. Macam-macam Sistem Koordinat Allah SWT menciptakan alam semesta ini dalam keadaan yang teratur rapi. Re, diakses Mei 10, 2025, <https://repository.ump.ac.id/6804/3/Alina%20Rahmatika%20Bab%20II.pdf>
 119. Mengenal Berbagai Sistem Koordinat dalam Astronomi - OIF UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://oif.umsu.ac.id/2022/06/mengenal-berbagai-sistem-koordinat-dalam-astronomi/>
 120. Sistem Koordinat Benda Langit - UMSU Press, diakses Mei 10, 2025, <https://umsupress.umsu.ac.id/wp-content/uploads/2024/05/9786234085006.pdf>
 121. jurnal.ucy.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections/article/download/580/603/>
 122. Sistem koordinat ekliptika - Wikipedia bahasa Indonesia..., diakses Mei 10, 2025, https://id.wikipedia.org/wiki/Sistem_koordinat_ekliptika
 123. eprints.walisongo.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://eprints.walisongo.ac.id/6777/3/BAB%20II.pdf>
 124. PEMANFAATAN ANALISA MATEMATIS DALAM PENYELESAIAN PERMASALAHAN FIKIH - Jurnal Elektronik Universitas Cokroaminoto Yogyakarta, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections/article/download/580/603>
 125. Aries | Constellation, Zodiac, Sign, Symbol, Dates, & Facts | Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/place/Aries>
 126. Vernal Equinox | COSMOS, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/v/Vernal+Equinox>
 127. jurnal.ucy.ac.id, diakses Mei 10, 2025, https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/agama_islam/article/download/2024/1794
 128. Ecliptic | Definition, Facts, Obliquity, & Zodiac - Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/ecliptic>
 129. Presesi Sumbu Rotasi Bumi / Axial Precession – BumiDatar.id, diakses Mei 10,

- 2025, <https://bumidatar.id/presesi-sumbu>
130. Precession of the equinoxes | Definition, Hipparchus, & Facts | Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/precession-of-the-equinoxes>
 131. Rotasi Bumi Kelompok 5 | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/document/410266149/Rotasi-Bumi-Kelompok-5>
 132. Solusi Soal-Soal Osn - Koordinat Bola Langit | PDF | Ilmu Sosial..., diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/doc/56852806/Solusi-Soal-soal-Osn-Koordinat-Bola-Langit>
 133. Bradley Discovers the Nutation of Earth's Axis | EBSCO Research..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.ebsco.com/research-starters/history/bradley-discovers-nutation-earths-axis>
 134. Astronomical nutation - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_nutation
 135. Geodesi Satelit Tugas-3 | PDF | Sejarah - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/document/714202662/GEODESI-SATELIT-TUGAS-3>
 136. Uraian Materi Mekanika Benda Langit | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/doc/287036136/Uraian-Materi-Mekanika-Benda-Langit>
 137. Tata Koordinat Langit Dan Astronomi Bola | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/document/764582771/Tata-Koordinat-Langit-Dan-Astronomi-Bola-1>
 138. 2 - Sistem Koordinat & Waktu | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/doc/190603199/2-Sistem-Koordinat-Waktu>
 139. Perhitungan Waktu Salat - Falak ABI, diakses Mei 10, 2025, <https://falak-abi.id/perhitungan-waktu-salat/>
 140. Epoch (astronomy) - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Epoch_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Epoch_(astronomy))
 141. Equinox (celestial coordinates) - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_\(celestial_coordinates\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_(celestial_coordinates))

BAB V

KONVERSI KALENDER HIJRIAH - MASEHI

Konversi antara kalender Hijriah dan Masehi memiliki signifikansi yang mendalam dan luas, tidak hanya dalam konteks pelaksanaan ibadah bagi umat Islam, tetapi juga dalam penelusuran sejarah, administrasi, dan pemahaman lintas budaya. Kalender Hijriah, sebagai penanggalan Kamariyah (lunar), menjadi pedoman utama dalam menentukan waktu-waktu penting seperti awal Ramadan, Idul Fitri, Idul Adha, dan pelaksanaan ibadah haji. Di sisi lain, kalender Masehi (Gregorian), sebagai penanggalan syamsiah (solar), merupakan standar global yang digunakan dalam berbagai aspek kehidupan modern.

Kompleksitas konversi antara kedua sistem kalender ini timbul dari perbedaan fundamental dalam dasar perhitungannya. Kalender Hijriah murni berdasarkan siklus sinodis Bulan, dengan panjang tahun rata-rata sekitar 354 atau 355 hari, sedangkan kalender Masehi didasarkan pada revolusi Bumi mengelilingi Matahari, dengan panjang tahun rata-rata 365.2425 hari. Perbedaan ini menyebabkan tanggal-tanggal dalam kalender Hijriah bergeser relatif terhadap kalender Masehi setiap tahunnya. Lebih lanjut, variasi dalam metode penentuan awal bulan Hijriah, baik melalui *rukyatul hilal* (observasi hilal) maupun *hisab* (perhitungan astronomis) dengan berbagai kriterianya, menambah lapisan kerumitan dalam upaya konversi yang akurat dan universal.¹

Bab ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan yang komprehensif mengenai berbagai metode konversi antara kalender Hijriah dan Masehi. Pembahasan akan dimulai dari tinjauan historis penetapan dan struktur dasar kalender Hijriah, termasuk varian konvensionalnya (Urfi). Selanjutnya, akan diuraikan algoritma konversi berbasis tabel yang umum digunakan, seperti yang merujuk pada kalender Ummul Qura dan sistem hisab hakiki Wujudul Hilal Muhammadiyah. Bab ini juga akan mendalami aspek perhitungan kalender Hijriah secara astronomis, yang melibatkan parameter-parameter kunci dan kriteria visibilitas hilal, serta memperkenalkan konsep Julian Day Number (JDN) sebagai jembatan konversi. Terakhir, akan disajikan contoh praktis implementasi fungsi konversi kalender menggunakan bahasa pemrograman Python, dengan tetap memperhatikan asumsi dan batasan yang melekat pada setiap metode. Pemahaman yang mendalam terhadap berbagai pendekatan ini diharapkan dapat memberikan perspektif yang lebih utuh mengenai tantangan dan solusi dalam menjembatani kedua sistem penanggalan ini.

5.1 Sejarah dan Struktur Kalender Hijriah

Pemahaman mendalam mengenai sejarah pembentukan dan struktur dasar kalender Hijriah merupakan fondasi penting sebelum melangkah ke pembahasan metode konversinya. Bagian ini akan menguraikan proses penetapan kalender Hijriah pada masa Khalifah Umar bin Khattab, struktur Kamariyah yang menjadi ciri khasnya, serta konsep kalender Hijriah Urfi sebagai salah satu bentuk implementasi konvensionalnya.

5.1.1 Penetapan Kalender Hijriah

Sebelum Islam datang, masyarakat Arab telah menggunakan sistem penanggalan Kamariyah, namun seringkali dimodifikasi dengan praktik interkalasi atau *nasi'*, yaitu penambahan bulan untuk menyelaraskan kalender Kamariyah dengan musim atau kalender syamsiah. Praktik ini kemudian dilarang dalam Islam karena dianggap mengubah ketetapan Allah mengenai jumlah bulan dalam setahun.

Kebutuhan akan sistem penanggalan Islam yang baku dan seragam mulai dirasakan pada masa pemerintahan Khalifah Umar bin Khattab. Inisiasi ini dipicu oleh surat dari Gubernur Abu Musa Al-Asy'ari pada tahun ke-17 Hijriah yang mengeluhkan kesulitan dalam administrasi surat-menyurat karena tidak adanya penanggalan yang standar.³ Menanggapi hal ini, Khalifah Umar bin Khattab mengumpulkan para sahabat terkemuka untuk bermusyawarah guna menetapkan sistem kalender Islam.

Dalam musyawarah tersebut, muncul beberapa usulan mengenai titik awal (epos) kalender Islam. Beberapa usulan yang diajukan antara lain adalah tahun kelahiran Nabi Muhammad SAW, tahun wafatnya Nabi, tahun pengangkatan Muhammad sebagai Rasul, dan peristiwa Hijrah Nabi dari Makkah ke Madinah.³ Setelah melalui pertimbangan yang matang, Khalifah Umar bin Khattab, dengan dukungan pendapat dari Ali bin Abi Thalib, memutuskan untuk menjadikan peristiwa Hijrah sebagai tahun pertama kalender Islam.⁴ Alasan utama pemilihan Hijrah adalah karena peristiwa ini dianggap sebagai tonggak penting yang memisahkan antara periode kebenaran (hak) dan kebatilan, serta menandai dimulainya pembentukan masyarakat Islam yang terorganisir di Madinah.³

Setelah tahun pertama ditetapkan, musyawarah berlanjut untuk menentukan bulan pertama dalam kalender Hijriah. Ada usulan untuk memulai dengan bulan Rabiulawal, karena pada bulan itulah Nabi Muhammad SAW tiba di Madinah. Namun, Khalifah Umar bin Khattab, atas usulan Utsman bin Affan, lebih memilih Muharam sebagai bulan pertama.³ Beberapa alasan yang mendasari pemilihan Muharam antara lain adalah karena Muharam merupakan bulan setelah Zulhijah, di mana umat Islam baru saja

menyelesaikan ibadah haji dan kembali ke aktivitas normal. Selain itu, Muharam juga dianggap sebagai *muqaddimah* atau pendahuluan dari peristiwa Hijrah itu sendiri, karena niat untuk berhijrah sudah ada sebelum pelaksanaannya di bulan Rabiulawal.³ Dengan demikian, Muharam secara resmi ditetapkan sebagai bulan pertama dalam kalender Hijriah.

5.1.2 Struktur Dasar Kalender Hijriah Kamariyah

Kalender Hijriah adalah sistem penanggalan yang murni berdasarkan peredaran Bulan mengelilingi Bumi (Kamariyah atau lunar).⁴ Struktur dasarnya terdiri dari beberapa elemen kunci:

1. **Jumlah Bulan:** Satu tahun Hijriah terdiri dari 12 bulan Kamariyah.⁶ Penetapan 12 bulan ini sejalan dengan firman Allah dalam Al-Qur'an (QS. At-Taubah: 36).
2. **Nama-nama Bulan dan Maknanya:** Setiap bulan dalam kalender Hijriah memiliki nama dengan makna historis atau budaya Arab pra-Islam yang kemudian diadopsi. Nama-nama bulan tersebut secara berurutan adalah ⁷:
 - **Muharam (محرم):** Artinya "yang diharamkan" atau "yang disucikan". Pada bulan ini, masyarakat Arab pra-Islam mengharamkan peperangan.
 - **Safar (صفر):** Artinya "kosong" atau "kuning". Dinamakan demikian karena rumah-rumah menjadi kosong ditinggal penghuninya yang pergi berperang atau karena dedaunan menguning.
 - **Rabiulawal (ربيع الأول):** Artinya "musim semi yang pertama".
 - **Rabiulakhir (ربيع الآخر)** atau **Rabiuts Tsani (ربيع الثاني):** Artinya "musim semi yang kedua".
 - **Jumadil Ula (جمادى الأولى):** Artinya "musim kering yang pertama" (mengacu pada kondisi air yang membeku atau tanah yang kering).
 - **Jumadilakhirah (جمادى الآخرة)** atau **Jumadats Tsaniyah (جمادى الثانية):** Artinya "musim kering yang kedua".
 - **Rajab (رجب):** Artinya "memuliakan" atau "mengagungkan". Bulan ini termasuk salah satu dari empat bulan haram.
 - **Syakban (شعبان):** Artinya "berpencar" atau "berkelompok". Dinamakan demikian karena pada bulan ini masyarakat Arab berpencar mencari air atau sumber kehidupan.
 - **Ramadan (رمضان):** Artinya "sangat panas" atau "membakar". Bulan puasa bagi umat Islam, di mana dosa-dosa diharapkan terbakar habis.
 - **Syawwal (شوال):** Artinya "peningkatan". Setelah Ramadan, diharapkan terjadi peningkatan amal ibadah.
 - **Dzulqa'dah (ذو القعدة):** Artinya "pemilik tempat duduk" atau "bulan istirahat".

Masyarakat Arab beristirahat dari peperangan pada bulan ini, yang juga termasuk bulan haram.

- **Zulhijah** (ذو الحجة): Artinya "pemilik haji". Bulan pelaksanaan ibadah haji, yang juga termasuk bulan haram.
- 3. **Jumlah Hari per Bulan:** Setiap bulan dalam kalender Hijriah memiliki umur 29 atau 30 hari. Penentuan jumlah hari ini secara tradisional didasarkan pada *rukyatul hilal* (pengamatan visual hilal atau bulan sabit muda pertama) pada akhir hari ke-29. Jika hilal terlihat, maka bulan tersebut berumur 29 hari dan malam itu memasuki tanggal 1 bulan baru. Jika hilal tidak terlihat, maka bulan tersebut digenapkan (istikmal) menjadi 30 hari.⁶ Dalam sistem hisab, jumlah hari ini dihitung berdasarkan posisi astronomis Bulan.
- 4. **Siklus 30 Tahun (Daur):** Untuk menjaga kesesuaian jangka panjang kalender Hijriah dengan siklus sinodis Bulan yang sebenarnya (rata-rata 29.530589 hari), digunakan sistem siklus 30 tahun. Dalam satu siklus 30 tahun ini, terdapat 11 tahun kabisat (tahun panjang) yang memiliki 355 hari, dan 19 tahun basitah (tahun pendek) yang memiliki 354 hari.⁶ Penambahan satu hari pada tahun kabisat biasanya dilakukan pada bulan Zulhijah, sehingga Zulhijah pada tahun kabisat berumur 30 hari. Tahun-tahun kabisat dalam siklus 30 tahun ini umumnya jatuh pada tahun ke-2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26, dan 29.⁶ (Beberapa sumber mungkin mencatat sedikit variasi pada urutan tahun kabisat, misalnya tahun ke-25 bukan 24, namun prinsip dasarnya adalah adanya 11 tahun kabisat dalam 30 tahun). Sistem siklus ini membantu mengakumulasi selisih antara panjang tahun Kamariyah rata-rata (sekitar 354.367 hari) dengan 354 hari.

Struktur ini menjadikan kalender Hijriah sebagai sistem yang dinamis namun tetap memiliki keteraturan matematis, terutama jika menggunakan pendekatan hisab.

5.1.3 Kalender Hijriah Urfi (Konvensional/Hisab Adadi)

Kalender Hijriah Urfi, juga dikenal sebagai kalender Hijriah konvensional atau *hisab adadi* (perhitungan bilangan), adalah varian dari kalender Hijriah yang perhitungannya didasarkan pada siklus rata-rata peredaran Bulan, bukan melalui observasi hilal secara langsung atau perhitungan astronomis posisi Bulan yang presisi untuk setiap awal bulan.¹⁰ Sistem ini dirancang untuk memberikan kepastian dan kemudahan dalam prediksi tanggal untuk jangka waktu yang panjang.

Struktur Kalender Hijriah Urfi:

Struktur dasar kalender Hijriah Urfi umumnya mengikuti pola berikut:

1. **Jumlah Bulan:** Tetap 12 bulan dalam setahun.

2. **Jumlah Hari per Bulan:** Panjang bulan ditentukan secara tetap dan berselang-seling. Bulan-bulan dengan urutan ganjil (Muharam, Rabiulawal, Jumadil Ula, Rajab, Ramadan, Dzulqa'dah) ditetapkan berumur 30 hari. Sementara itu, bulan-bulan dengan urutan genap (Safar, Rabiulakhir, Jumadilakhirah, Syakban, Syawwal) ditetapkan berumur 29 hari.¹⁰
3. **Bulan Terakhir (Zulhijah):** Bulan Zulhijah, sebagai bulan ke-12 (genap), normalnya berumur 29 hari pada tahun basitah (pendek). Namun, pada tahun kabisat (panjang), bulan Zulhijah ditambah satu hari menjadi 30 hari untuk menyesuaikan total hari dalam setahun kabisat menjadi 355 hari.¹²
4. **Siklus Tahun Kabisat:** Sama seperti kalender Hijriah Kamariyah berbasis astronomis, kalender Urfi juga menggunakan siklus 30 tahun yang terdiri dari 19 tahun basitah (354 hari) dan 11 tahun kabisat (355 hari) untuk menjaga keselarasan dengan rata-rata panjang bulan sinodis.⁶

Salah satu contoh awal dari sistem hisab yang memiliki kemiripan dengan prinsip Urfi adalah yang dikaitkan dengan upaya standardisasi pada masa Khalifah Umar bin Khattab, meskipun detail formulasi Urfi yang dikenal saat ini berkembang lebih lanjut oleh para ahli falak setelahnya.¹²

Kelebihan Kalender Hijriah Urfi:

- **Kepastian dan Prediktabilitas:** Keunggulan utama kalender Urfi adalah kemampuannya untuk diprediksi jauh ke depan dengan pasti. Karena jumlah hari dalam setiap bulan sudah tetap (kecuali Zulhijah pada tahun kabisat), penyusunan kalender untuk bertahun-tahun menjadi mudah.¹⁵
- **Kesederhanaan Perhitungan:** Perhitungannya relatif sederhana dibandingkan dengan hisab hakiki yang memerlukan data astronomis kompleks.

Kekurangan Kalender Hijriah Urfi:

- **Potensi Penyimpangan dari Fenomena Astronomis Aktual:** Karena didasarkan pada nilai rata-rata dan aturan tetap, kalender Urfi dapat menyimpang dari penampakan hilal yang sebenarnya atau dari hasil perhitungan astronomis yang lebih presisi untuk setiap awal bulan.¹⁶ Awal bulan menurut kalender Urfi tidak selalu bertepatan dengan saat hilal pertama kali mungkin terlihat.
- **Kurang Sesuai untuk Ibadah yang Mensyaratkan Rukyat:** Bagi praktik keagamaan yang sangat menekankan *rukyatul hilal* sebagai penentu awal bulan (seperti awal Ramadan, Syawwal, dan Zulhijah), kalender Urfi mungkin dianggap kurang memadai karena tidak secara langsung merefleksikan kondisi hilal di ufuk.¹³

Meskipun demikian, kalender Hijriah Urfi tetap memiliki peran penting, terutama untuk keperluan administratif, pencatatan sejarah, atau sebagai dasar perhitungan awal dalam sistem hisab yang lebih kompleks sebelum dikoreksi dengan data astronomis aktual.

5.2 Algoritma Konversi Kalender Berbasis Tabel

Konversi kalender antara sistem Hijriah dan Masehi dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah menggunakan tabel yang telah dihitung sebelumnya. Metode ini menawarkan kemudahan dan kecepatan, meskipun memiliki batasan tertentu. Beberapa sistem kalender Islam yang sering direpresentasikan dalam bentuk tabel untuk konversi adalah Kalender Ummul Qura dan Kalender Muhammadiyah yang berdasarkan prinsip Wujudul Hilal.

5.2.1 Prinsip Dasar Konversi Berbasis Tabel

Konversi kalender berbasis tabel mengandalkan data korespondensi tanggal antara dua sistem kalender (misalnya, Hijriah dan Masehi) yang telah disusun sebelumnya. Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut:

1. **Tabel Referensi:** Inti dari metode ini adalah adanya sebuah tabel yang memuat daftar tanggal dalam satu sistem kalender beserta padanannya dalam sistem kalender lain untuk rentang waktu tertentu. Tabel ini biasanya dihasilkan dari perhitungan astronomis atau aturan kalender tertentu.
2. **Metodologi Pencocokan:** Untuk melakukan konversi, pengguna mencari tanggal yang diketahui dalam kolom sistem kalender asal, kemudian menemukan tanggal yang bersesuaian dalam kolom sistem kalender tujuan. Proses ini bisa berupa pencocokan langsung jika tanggal tersebut tercantum, atau memerlukan interpolasi sederhana jika tabel tidak mencakup setiap hari secara individual (misalnya, tabel hanya memberikan awal bulan).

Kelebihan Konversi Berbasis Tabel:

- **Cepat dan Mudah:** Metode ini sangat praktis untuk penggunaan umum karena tidak memerlukan perhitungan matematis atau astronomis yang rumit dari pengguna akhir. Cukup dengan merujuk pada tabel, konversi dapat dilakukan dengan cepat.¹⁸
- **Tidak Memerlukan Pengetahuan Khusus:** Pengguna tidak perlu memahami detail algoritma astronomi untuk melakukan konversi.

Kekurangan Konversi Berbasis Tabel:

- **Akurasi Terbatas pada Sumber Tabel:** Kualitas dan akurasi konversi sangat bergantung pada keakuratan tabel referensi yang digunakan. Jika tabel sumber mengandung kesalahan atau didasarkan pada kriteria yang kurang presisi, hasil konversinya juga akan demikian.
- **Kurang Fleksibel:** Tabel biasanya disusun berdasarkan satu set kriteria hisab tertentu (misalnya, kriteria Ummul Qura atau Wujudul Hilal). Metode ini menjadi kurang fleksibel jika pengguna memerlukan konversi berdasarkan kriteria hisab yang berbeda atau ingin mempertimbangkan hasil rukyat.
- **Rentang Waktu Terbatas:** Tabel konversi umumnya mencakup rentang waktu tertentu. Untuk tanggal di luar rentang yang disediakan tabel, metode ini tidak dapat digunakan secara langsung.²⁰
- **Ketergantungan pada Pembaruan:** Untuk kalender yang dinamis seperti Hijriah, tabel perlu diperbarui secara berkala, terutama jika ada perubahan dalam kriteria atau metode perhitungan yang digunakan sebagai dasar penyusunan tabel.

Meskipun demikian, untuk keperluan praktis sehari-hari atau sebagai referensi cepat, tabel konversi tetap menjadi alat yang berguna.

5.2.2 Kalender Ummul Qura

Kalender Ummul Qura adalah kalender Hijriah resmi yang digunakan untuk keperluan sipil di Kerajaan Arab Saudi. Kalender ini disusun oleh *Institute of Astronomical and Geophysical Research* (IAGR) di bawah *King Abdulaziz City for Science and Technology* (KACST) berdasarkan perhitungan astronomis modern mengenai pergerakan Matahari dan Bulan.²²

Sejarah dan Metodologi:

Kalender Ummul Qura telah mengalami beberapa evolusi dalam metodologi atau kriteria penentuan awal bulannya sejak pertama kali digunakan 22:

- **Sebelum 1392 H (sekitar 1972 M):** Aturan pasti kurang jelas, beberapa sumber menyebutkan syarat ketinggian hilal minimal 9° di Mekkah, namun hal ini tidak sepenuhnya terkonfirmasi. Terdapat kasus di mana bulan Kamariyah dimulai sebelum ijtima astronomis.²³
- **1392 H – 1419 H (1972 M – 1999 M):** Awal bulan dimulai pada saat matahari terbenam sebelumnya jika ijtima astronomis terjadi kurang dari 3 jam setelah tengah malam waktu Saudi (00:00 UTC). Jika tidak, awal bulan dimulai pada matahari terbenam berikutnya. Hal ini setara dengan usia bulan sekitar 15 jam atau kurang pada awal bulan Kamariyah. Pada periode ini, seringkali bulan dimulai sebelum ijtima astronomis atau dengan hilal di bawah ufuk saat matahari

terbenam di Mekkah.²³

- **1420 H – 1422 H (1999 M – 2002 M):** Aturan diubah menjadi: pada hari ke-29, hari berikutnya adalah tanggal 1 bulan baru jika bulan terbenam setelah matahari terbenam di Mekkah (tepatnya di Masjidil Haram). Jika tidak, hari berikutnya adalah tanggal 30, dan bulan baru dimulai lusa. Meskipun aturan ini memastikan hilal selalu di atas ufuk, masih ada kemungkinan awal bulan terjadi sebelum ijtima astronomis, yang memang terjadi pada Rajab 1421 H dan Syakban 1422 H, sehingga memerlukan modifikasi lebih lanjut.²³
- **Sejak 1423 H (Maret 2002 M – sekarang):** Kriteria yang berlaku adalah: jika pada hari ke-29 bulan Kamariyah berjalan kedua kondisi berikut terpenuhi, maka hari berikutnya adalah tanggal 1 bulan baru:
 1. ijtima geosentris terjadi sebelum matahari terbenam di Mekkah.
 2. Bulan terbenam setelah matahari terbenam di Mekkah (hilal berada di atas ufuk saat matahari terbenam). Jika salah satu kondisi tidak terpenuhi, maka bulan berjalan dikenakan menjadi 30 hari.²² Kriteria ini mirip dengan prinsip Wujudul Hilal.

Penggunaan Tabel Ummul Qura:

Tabel konversi yang didasarkan pada Kalender Ummul Qura banyak tersedia dan sering dijadikan rujukan, termasuk dalam perangkat lunak dan aplikasi kalender digital.²²

Kelebihan:

- **Standar Internasional:** Digunakan secara luas di banyak negara Muslim dan komunitas Muslim global, terutama yang memiliki kaitan dengan Arab Saudi.²²
- **Ketersediaan:** Tabel dan data konversinya mudah diakses.

Kekurangan:

- **Perbedaan dengan Rukyat atau Kriteria Lain:** Meskipun berbasis hisab, kriteria Ummul Qura tidak selalu identik dengan hasil *rukyatul hilal* murni atau kriteria *imkanur rukyat* yang digunakan di negara lain. Bahkan, untuk penetapan hari-hari besar keagamaan seperti awal Ramadan, Syawal, dan Zulhijah, Majelis al-Qada' al-A'la (Majelis Yudisial Agung) Arab Saudi terkadang mengeluarkan keputusan yang berbeda dari kalender Ummul Qura sipil, karena mereka juga mempertimbangkan hasil rukyat.²²
- **Batasan Rentang Tanggal pada Implementasi:** Beberapa implementasi perangkat lunak atau pustaka yang menggunakan algoritma Ummul Qura mungkin memiliki batasan rentang tanggal yang dapat dikonversi secara akurat. Sebagai contoh, pustaka hijridate untuk Python yang berbasis Ummul Qura memiliki

rentang dari awal 1343 H (1 Agustus 1924 M) hingga akhir 1500 H (16 November 2077 M).²⁴

- **Visibilitas Hilal:** Meskipun kriteria saat ini memastikan hilal di atas ufuk, dalam banyak kasus (sekitar 75%), hilal tersebut kemungkinan besar tidak akan terlihat dengan mata telanjang pada malam pertama bulan baru di Mekkah atau wilayah Arab Saudi lainnya.²³

Kalender Ummul Qura memainkan peran penting dalam standardisasi kalender Hijriah untuk keperluan sipil, namun penggunaanya perlu menyadari metodologi dan potensi perbedaannya dengan sistem penentuan awal bulan lainnya.

5.2.3 Kalender Muhammadiyah (Hisab Hakiki Wujudul Hilal)

Muhammadiyah, sebagai salah satu organisasi Islam terbesar di Indonesia, memiliki sistem penentuan awal bulan Hijriah yang khas, yaitu menggunakan metode *hisab hakiki* dengan kriteria *Wujudul Hilal*. Metode ini memungkinkan penyusunan kalender atau almanak untuk jangka waktu yang panjang dengan kepastian tanggal.

Prinsip Dasar Hisab Hakiki Wujudul Hilal:

Hisab Hakiki berarti perhitungan astronomis dilakukan berdasarkan posisi geometris benda-benda langit (Bulan dan Matahari) yang sebenar-benarnya dan setepat-tepatnya pada waktu tertentu, mengacu pada gerak faktual Bulan di langit.²⁶ Kriteria Wujudul Hilal yang digunakan oleh Muhammadiyah untuk menetapkan awal bulan baru adalah terpenuhinya tiga syarat secara kumulatif pada hari ke-29 bulan berjalan (hari konjungsi atau yaumul ijtimak) 26:

1. **Telah terjadi ijtimak (konjungsi):** ijtimak adalah saat Bulan dan Matahari berada pada bujur ekliptika yang sama jika dilihat dari Bumi.
2. **ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam (*qabla ghurub*):** Peristiwa ijtimak harus sudah berlangsung sebelum Matahari terbenam pada hari ke-29 tersebut.
3. **Pada saat matahari terbenam, piringan atas Bulan berada di atas ufuk (Bulan sudah wujud):** Ketika Matahari terbenam di lokasi pengamatan, Bulan (minimal piringan atasnya) harus sudah berada di atas ufuk (horison). Ketinggian Bulan di atas ufuk, meskipun sangat kecil (misalnya hanya 0.1 derajat), sudah dianggap memenuhi syarat ini.

Jika ketiga syarat tersebut terpenuhi di seluruh wilayah Indonesia (untuk konteks penetapan nasional oleh Muhammadiyah), maka malam itu sudah masuk tanggal 1 bulan baru, dan keesokan harinya adalah hari pertama bulan baru. Jika salah satu saja dari ketiga kriteria tersebut tidak terpenuhi, maka bulan berjalan akan dikenakan (*istikmal*) menjadi 30 hari, dan bulan baru dimulai lusa.²⁶

Transformasi Metode di Muhammadiyah:

Dalam sejarahnya, Muhammadiyah telah mengalami beberapa transformasi dalam metode penentuan awal bulan Hijriah 29:

1. **Hisab Imkanur Rukyat:** Awalnya, Muhammadiyah menggunakan sistem hisab yang berprinsip pada kemungkinan hilal dapat terlihat.
2. **Hisab ijtimak Qabl al-Ghurub:** Kemudian beralih ke metode di mana syarat utamanya adalah ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam, tanpa memperhitungkan posisi hilal di atas ufuk saat matahari terbenam. Metode ini digunakan hingga tahun 1387 H.
3. **Hisab Hakiki Wujudul Hilal:** Metode ini kemudian diadopsi dan digunakan hingga saat ini, dengan pertimbangan bahwa keberadaan hilal di atas ufuk setelah ijtimak dan setelah matahari terbenam sudah cukup menjadi penanda dimulainya bulan baru.

Penyusunan Tabel/Almanak:

Dengan metode Wujudul Hilal yang murni berdasarkan perhitungan astronomis, Muhammadiyah dapat menyusun kalender atau almanak Hijriah untuk bertahun-tahun ke depan dengan tanggal yang pasti.

Kelebihan:

- **Kepastian Tanggal:** Memberikan kepastian penentuan awal bulan jauh hari sebelumnya, memudahkan perencanaan kegiatan keagamaan dan sosial.
- **Konsistensi Internal:** Metode ini konsisten dengan prinsip hisab yang dianut.
- **Rasionalitas Ilmiah:** Didasarkan pada perhitungan astronomi yang dapat diverifikasi secara ilmiah.

Kekurangan:

- **Potensi Perbedaan dengan Hasil Rukyat:** Hasil penetapan awal bulan dengan Wujudul Hilal dapat berbeda dengan hasil *rukyatul hilal* atau metode hisab lain yang menggunakan kriteria *imkanur rukyat* dengan syarat ketinggian dan elongasi hilal minimum tertentu. Hal ini karena Wujudul Hilal tidak mensyaratkan hilal harus dapat terlihat, melainkan cukup sudah berada di atas ufuk.³⁰
- **Wacana Transisi ke Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT):** Belakangan ini, Muhammadiyah telah menyatakan akan melakukan transisi menuju penggunaan Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT). KHGT adalah sebuah konsep kalender Islam unifikatif yang bertujuan untuk menyatukan tanggal di seluruh dunia dengan prinsip satu hari satu tanggal.³¹ Langkah ini menunjukkan adanya dinamika dan upaya berkelanjutan dalam mencari sistem kalender yang lebih universal.

Penggunaan tabel atau almanak yang disusun berdasarkan kriteria Wujudul Hilal oleh Muhammadiyah sangat membantu anggotanya dan masyarakat luas dalam mengetahui penanggalan Hijriah.

5.2.4 Langkah-langkah Praktis Konversi Menggunakan Tabel (Contoh Umum)

Menggunakan tabel konversi adalah salah satu cara paling sederhana untuk mengetahui padanan tanggal antara kalender Hijriah dan Masehi. Berikut adalah langkah-langkah umum yang dapat diikuti:

1. **Identifikasi Tabel Referensi yang Kredibel:**

Langkah pertama dan paling krusial adalah menemukan sumber tabel konversi yang dapat dipercaya. Tabel ini bisa berasal dari lembaga astronomi resmi, organisasi Islam yang memiliki otoritas dalam hisab rukyat, atau publikasi ilmiah. Kredibilitas sumber penting untuk memastikan akurasi data konversi. Banyak tabel tersedia secara daring (online) maupun dalam bentuk cetak (almanak).³³

2. **Konversi dari Tanggal Hijriah ke Tanggal Masehi:**

- **Cari Tahun Hijriah:** Temukan bagian tabel yang mencakup tahun Hijriah yang ingin dikonversi.
- **Cari Bulan Hijriah:** Dalam bagian tahun tersebut, cari bulan Hijriah yang dimaksud. Tabel biasanya mencantumkan tanggal awal setiap bulan Hijriah beserta padanan tanggal Masehinya.
- **Temukan Tanggal Hijriah:** Setelah menemukan bulan yang benar, cari tanggal spesifik dalam bulan Hijriah tersebut.
- **Identifikasi Padanan Tanggal Masehi:** Kolom di sebelah tanggal Hijriah akan menunjukkan tanggal, bulan, dan tahun Masehi yang bersesuaian.
- **Contoh:** Jika ingin mengetahui tanggal Masehi untuk 1 Syawal 1445 H, pengguna akan mencari tahun 1445 H, lalu bulan Syawwal. Tabel akan menunjukkan, misalnya, bahwa 1 Syawwal 1445 H bertepatan dengan 10 April 2024 M. (Contoh ini ilustratif, perlu verifikasi dengan tabel aktual).

3. **Konversi dari Tanggal Masehi ke Tanggal Hijriah:**

- **Cari Tahun Masehi:** Temukan bagian tabel yang mencakup tahun Masehi yang ingin dikonversi.
- **Cari Bulan Masehi:** Dalam bagian tahun tersebut, cari bulan Masehi yang dimaksud.
- **Temukan Tanggal Masehi:** Setelah menemukan bulan yang benar, cari tanggal spesifik dalam bulan Masehi tersebut.
- **Identifikasi Padanan Tanggal Hijriah:** Kolom di sebelah tanggal Masehi akan menunjukkan tanggal, bulan, dan tahun Hijriah yang bersesuaian.

- **Contoh:** Jika ingin mengetahui tanggal Hijriah untuk 26 Juli 2024 M, pengguna akan mencari tahun 2024 M, lalu bulan Juli. Tabel akan menunjukkan, misalnya, bahwa 26 Juli 2024 M bertepatan dengan 19 Muharam 1446 H. (Contoh ini ilustratif, perlu verifikasi dengan tabel aktual).
4. Memperhatikan Hari dalam Seminggu:
- Beberapa tabel konversi juga menyertakan informasi hari dalam seminggu (Senin, Selasa, dst.) untuk kedua sistem kalender, yang dapat berguna untuk verifikasi tambahan.

Contoh Penggunaan Sumber Tabel:

Dokumen 34 memberikan contoh perhitungan manual yang kompleks untuk konversi, yang pada dasarnya merupakan algoritma yang dapat ditabelkan. Misalnya, untuk menentukan hari dan pasaran 1 Syawal 1444 H, dilakukan perhitungan jumlah hari total sejak epos tertentu, kemudian dibagi dengan siklus hari (7 untuk hari biasa, 5 untuk pasaran Jawa). Meskipun bukan tabel langsung, prinsip akumulasi hari ini adalah dasar dari banyak tabel kalender. Sumber seperti 33 dan 33 menyarankan pencarian tabel konversi di internet atau menggunakan aplikasi kalender yang sudah memiliki fungsi ini, yang pada dasarnya juga menggunakan data tabel atau algoritma terprogram.

Penting untuk diingat bahwa tabel konversi umumnya didasarkan pada sistem hisab tertentu (misalnya, Ummul Qura atau Wujudul Hilal). Jika konversi diperlukan untuk konteks yang sangat sensitif terhadap metode penentuan awal bulan (misalnya, ibadah yang bergantung pada rukyat lokal), maka tabel generik mungkin tidak selalu memberikan hasil yang sesuai dengan praktik lokal.

5.3 Perhitungan Kalender Hijriah Astronomis

Perhitungan kalender Hijriah secara astronomis melibatkan penentuan posisi benda-benda langit, khususnya Bulan dan Matahari, dengan presisi tinggi untuk menentukan awal setiap bulan Kamariyah. Metode ini berbeda dengan kalender berbasis tabel yang bersifat tetap, karena perhitungan astronomis mempertimbangkan dinamika aktual pergerakan benda langit dan menerapkan kriteria tertentu untuk visibilitas hilal.

5.3.1 Pentingnya Presisi dalam Perhitungan Astronomis untuk Kalender

Akurasi dalam perhitungan astronomis merupakan kunci utama dalam penyusunan kalender Hijriah yang andal, terutama ketika kalender tersebut digunakan untuk menentukan waktu-waktu ibadah. Penentuan awal bulan Kamariyah, seperti Ramadan, Syawal, dan Zulhijah, sangat bergantung pada data posisi Bulan dan Matahari yang tepat. Kesalahan kecil dalam perhitungan posisi dapat berakibat pada penetapan awal

bulan yang keliru, yang selanjutnya berdampak pada pelaksanaan ibadah umat Islam.

Beberapa fenomena astronomis yang mempengaruhi akurasi posisi benda langit dan harus diperhitungkan dalam kalkulasi presisi tinggi adalah presesi dan nutasi.

- **Presesi Ekuinoks:** Sumbu rotasi Bumi tidak tetap arahnya di ruang angkasa, melainkan mengalami pergeseran lambat seperti gerakan gasing. Fenomena ini, yang disebut presesi ekuinoks, disebabkan terutama oleh gaya gravitasi Matahari dan Bulan yang bekerja pada tonjolan ekuator Bumi.³⁵ Akibat presesi, titik ekuinoks vernal (titik Aries), yang menjadi titik referensi penting dalam sistem koordinat langit, bergeser secara perlahan sepanjang ekliptika. Pergeseran ini memiliki periode sekitar 25.772 tahun dan menyebabkan perubahan gradual pada koordinat bintang dan posisi ekuator langit relatif terhadap bintang-bintang.³⁵
- **Nutasi:** Selain gerakan presesi yang lambat dan stabil, sumbu rotasi Bumi juga mengalami goyangan periodik yang lebih kecil dan lebih cepat, yang disebut nutasi. Nutasi disebabkan oleh variasi periodik dalam gaya gravitasi yang diberikan oleh Bulan dan Matahari pada Bumi, terutama karena kemiringan orbit Bulan terhadap ekliptika dan perubahan posisi relatif Bumi, Bulan, dan Matahari.³⁹ Periode utama nutasi adalah sekitar 18.6 tahun, terkait dengan presesi orbit Bulan. Nutasi menyebabkan kutub langit yang sebenarnya bergerak dalam elips kecil di sekitar posisi rata-ratanya, dan mempengaruhi posisi sebenarnya dari ekuinoks dan ekuator langit.³⁹

Untuk mengatasi kompleksitas yang ditimbulkan oleh presesi dan nutasi, serta pergerakan benda langit lainnya, para astronom menggunakan **epos standar** sebagai titik referensi waktu. Epos standar, seperti **J2000.0** (1 Januari 2000, pukul 12:00 TT), menyediakan kerangka acuan yang konsisten untuk menyatakan koordinat langit dan elemen orbit.⁴³ Dengan merujuk semua pengamatan dan perhitungan ke epos standar, para astronom dapat memastikan konsistensi dan komparabilitas data dari waktu dan sumber yang berbeda. Ketika melakukan perhitungan untuk tanggal tertentu (epos pengamatan), koreksi untuk presesi dan nutasi dari epos standar ke epos pengamatan harus diterapkan untuk mendapatkan posisi benda langit yang akurat relatif terhadap *ekuinoks dan ekuator sebenarnya* pada saat itu.³⁹

5.3.2 Parameter Astronomis Kunci untuk Awal Bulan Hijriah

Penentuan awal bulan Hijriah secara astronomis bergantung pada beberapa parameter kunci yang menggambarkan posisi dan kondisi relatif Matahari dan Bulan:

1. **ijtimak (Konjungsi Astronomis):** Ini adalah momen ketika Bulan, dalam orbitnya

mengelilingi Bumi, berada pada posisi paling dekat dengan Matahari jika dilihat dari Bumi. Secara teknis, ijtimak terjadi ketika bujur ekliptika geosentris Bulan sama dengan bujur ekliptika geosentris Matahari. Pada saat ijtimak, Bulan tidak terlihat dari Bumi karena sisi yang menghadap Bumi tidak mendapat sinar Matahari (fase bulan baru). ijtimak menandai akhir dari satu siklus sinodis Bulan dan awal dari siklus berikutnya. Waktu terjadinya ijtimak dapat dihitung dengan presisi tinggi menggunakan teori gerak Bulan dan Matahari.

2. **Waktu Terbenam Matahari (Ghurub):** Ini adalah saat piringan atas Matahari menghilang di bawah ufuk barat pengamat. Waktu terbenam Matahari bergantung pada tanggal dan koordinat geografis (lintang dan bujur) lokasi pengamat.
3. **Posisi Bulan Saat Matahari Terbenam:** Setelah ijtimak, Bulan akan mulai bergerak menjauhi Matahari. Parameter posisi Bulan yang penting pada saat Matahari terbenam pada hari ke-29 (hari terjadinya ijtimak atau sehari setelahnya) meliputi:
 - **Ketinggian (Altitude) Hilal:** Sudut vertikal Bulan di atas ufuk pada saat Matahari terbenam. Nilai positif menunjukkan Bulan berada di atas ufuk.
 - **Azimut Hilal dan Matahari:** Arah horisontal Bulan dan Matahari dari titik utara, diukur sepanjang ufuk. Perbedaan azimuth antara Bulan dan Matahari juga menjadi pertimbangan.
 - **Elongasi (Arc of Light/Arc of Vision):** Jarak sudut antara pusat Bulan dan pusat Matahari jika dilihat dari Bumi. Elongasi geosentris diukur dari pusat Bumi, sedangkan elongasi toposentris diukur dari lokasi pengamat di permukaan Bumi. Elongasi ini penting karena menentukan seberapa jauh Bulan telah "terpisah" dari Matahari dan seberapa banyak bagian Bulan yang mulai tersinari.
 - **Usia Bulan:** Waktu yang telah berlalu sejak ijtimak hingga saat Matahari terbenam. Usia bulan mempengaruhi ketebalan sabit hilal.
 - **Lebar Sabit Hilal (Crescent Width):** Ukuran sudut dari bagian Bulan yang tersinari yang terlihat dari Bumi.
4. **Bidang Referensi Astronomis:** Untuk mendefinisikan dan menghitung posisi-posisi ini, digunakan sistem koordinat langit. Dua sistem utama yang relevan adalah:
 - **Sistem Koordinat Ekuatorial:** Menggunakan ekuator langit (proyeksi ekuator Bumi ke bola langit) sebagai bidang dasar. Koordinatnya adalah Asensio Rekta (α) dan Deklinasi (δ).⁴² Sistem ini umum digunakan untuk katalog bintang dan pengarahan teleskop.
 - **Sistem Koordinat Ekliptika:** Menggunakan bidang ekliptika (jalur semu

tahunan Matahari di langit, atau bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari) sebagai bidang dasar.⁴¹ Koordinatnya adalah Bujur Ekliptika (λ) dan Lintang Ekliptika (β).⁴² Sistem ini lebih cocok untuk mempelajari pergerakan objek Tata Surya karena orbit planet-planet umumnya dekat dengan bidang ekliptika.⁴² Kedua sistem ini terhubung melalui **kemiringan ekliptika (ϵ)**, yaitu sudut antara bidang ekuator langit dan bidang ekliptika, yang nilainya sekitar 23.4° .⁴¹ Titik potong antara ekliptika dan ekuator langit adalah titik ekuinoks, di mana titik Aries (vernal equinox) menjadi titik awal untuk pengukuran Asensio Rekta dan Bujur Ekliptika.³⁸

5. Pengaruh Presesi dan Nutasi pada Kerangka Acuan:

Seerti telah disebutkan, presesi ekuinoks menyebabkan pergeseran lambat pada orientasi sumbu rotasi Bumi dan, akibatnya, pergeseran bidang ekuator langit beserta titik Aries.³⁵ Hal ini berarti koordinat ekliptika dan ekuatorial suatu objek langit akan berubah seiring waktu jika tidak dirujuk ke epos standar.³⁷ Nutasi menambahkan variasi periodik jangka pendek pada posisi ekuator dan ekuinoks sebenarnya.³⁹ Oleh karena itu, dalam perhitungan astronomis presisi tinggi untuk menentukan parameter-parameter di atas, efek presesi dan nutasi harus diperhitungkan untuk mentransformasikan koordinat dari epos standar (misalnya, J2000.0) ke epos tanggal pengamatan (date of observation). Ini memastikan bahwa posisi Matahari dan Bulan dihitung relatif terhadap kerangka acuan yang benar pada saat itu, yang krusial untuk menentukan visibilitas hilal.³⁹

Dengan memahami dan menghitung parameter-parameter ini secara akurat, serta mempertimbangkan efek presesi dan nutasi, para astronom dapat memprediksi kemungkinan terlihatnya hilal dan, consequently, menentukan awal bulan Hijriah.

5.3.3 Kriteria Visibilitas Hilal (*Imkanur Rukyat*)

Setelah parameter astronomis posisi Bulan dan Matahari dihitung, langkah selanjutnya adalah menerapkan kriteria visibilitas hilal atau *Imkanur Rukyat*. Kriteria ini bertujuan untuk menentukan apakah hilal (bulan sabit muda pertama) secara teoritis sudah mungkin untuk dilihat (dirukyat) setelah matahari terbenam pada hari ke-29 bulan Kamariyah. *Imkanur Rukyat* berusaha menjembatani antara metode hisab (perhitungan) dan rukyat (observasi visual) dengan menetapkan ambang batas minimal parameter tertentu yang harus dipenuhi oleh hilal.

Pentingnya kriteria ini terletak pada upaya untuk mencapai objektivitas dan keseragaman dalam penentuan awal bulan, terutama di wilayah atau negara yang

mengadopsi hisab dengan pertimbangan kemungkinan rukyat. Beberapa kriteria visibilitas hilal yang dikenal dan digunakan antara lain:

1. **Kriteria MABIMS (Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura):**

- **Kriteria Lama (2-3-8):** Kriteria ini, yang lama digunakan oleh negara-negara anggota MABIMS, menetapkan bahwa hilal dianggap mungkin terlihat jika pada saat matahari terbenam memenuhi salah satu dari kondisi berikut: ketinggian hilal minimal 2° DI ATAS ufuk DAN elongasi (jarak sudut Bulan-Matahari) minimal 3° , ATAU umur bulan (sejak ijtimak) minimal 8 jam.³⁰
- **Kriteria Baru/Neo MABIMS (3-6.4):** Sebagai hasil evaluasi dan perkembangan ilmu astronomi, negara-negara MABIMS, termasuk Indonesia melalui Kementerian Agama, menyepakati pembaruan kriteria pada tahun 2021 dan mulai efektif digunakan pada tahun 2022 (1443 H). Kriteria baru ini mensyaratkan³⁰:
 - Ketinggian hilal minimal 3° di atas ufuk.
 - Elongasi geosentris minimal 6.4° . Kedua syarat ini harus terpenuhi secara kumulatif. Parameter umur bulan tidak lagi menjadi bagian eksplisit dari kriteria baru ini. Dasar penetapan ketinggian 3° berasal dari analisis data rukyat global yang menunjukkan tidak ada kesaksian hilal yang kredibel secara astronomis jika beda tinggi Bulan-Matahari kurang dari 4° atau tinggi Bulan saat matahari terbenam kurang dari 3° . Sementara itu, elongasi 6.4° didasarkan pada data pengamatan rukyat jangka panjang selama ratusan tahun yang menunjukkan bahwa ini adalah elongasi minimal agar sabit hilal cukup tebal untuk dapat terlihat, merujuk juga pada limit Danjon yang dimodifikasi oleh astronom seperti Mohammad Odeh.³⁰

2. **Kriteria Odeh:** Mohammad Odeh, seorang astronom Yordania, mengembangkan kriteria visibilitas hilal berdasarkan analisis data observasi yang ekstensif. Kriterianya mempertimbangkan parameter seperti beda tinggi Bulan-Matahari (*arc of vision* atau ARCV) dan lebar sabit hilal (W). Kriteria Odeh membagi kemungkinan visibilitas ke dalam beberapa zona, mulai dari yang hanya bisa dilihat dengan teleskop hingga yang mudah dilihat dengan mata telanjang.³⁰

3. **Limit Danjon:** Astronom André Danjon pada tahun 1930-an menyimpulkan bahwa hilal tidak mungkin terlihat jika elongasinya kurang dari sekitar 7° hingga 8° . Ini disebabkan oleh hamburan cahaya Matahari oleh atmosfer Bumi dan permukaan Bulan yang tidak rata, yang membuat sabit yang sangat tipis tidak dapat teramati.³⁰ Meskipun merupakan limit teoretis, ini sering menjadi acuan dalam diskusi visibilitas hilal.

4. **Kriteria LAPAN (sekarang BRIN):** Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), yang kini terintegrasi dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Indonesia, juga pernah mengusulkan kriteria yang mirip dengan Neo MABIMS, yaitu ketinggian hilal minimal 3° dan elongasi minimal 6.4° .³⁰

Perdebatan dan tantangan utama dalam kriteria visibilitas hilal adalah menemukan satu set parameter yang dapat diterima secara universal oleh berbagai komunitas Muslim di seluruh dunia. Faktor-faktor seperti kondisi atmosfer lokal, kemampuan pengamat, dan penggunaan alat bantu optik juga dapat mempengaruhi hasil rukyat aktual, yang terkadang berbeda dengan prediksi berdasarkan kriteria hisab *Imkanur Rukyat*. Meskipun demikian, kriteria-kriteria ini memainkan peran penting dalam menyediakan dasar ilmiah untuk memprediksi kemungkinan terlihatnya hilal. Presisi dalam perhitungan posisi Matahari dan Bulan, dengan memperhitungkan efek seperti presesi dan nutasi, menjadi sangat penting agar penerapan kriteria ini menghasilkan prediksi yang akurat.

5.3.4 Algoritma Dasar Perhitungan Astronomis (Konseptual)

Perhitungan astronomis untuk menentukan awal bulan Hijriah mengikuti serangkaian langkah logis yang didasarkan pada model pergerakan benda langit dan kriteria visibilitas hilal yang telah ditetapkan. Secara konseptual, algoritma dasar tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Perhitungan Posisi Matahari dan Bulan:
Langkah awal adalah menghitung posisi Matahari dan Bulan dengan akurasi tinggi untuk rentang waktu yang relevan. Posisi ini biasanya dinyatakan dalam sistem koordinat ekliptika (bujur λ , lintang β) atau ekuatorial (asensio rekta α , deklinasi δ) untuk epos standar tertentu (misalnya, J2000.0). Teori gerak benda langit modern, seperti VSOP87 (Variations Séculaires des Orbites Planétaires) untuk Matahari dan planet-planet, serta ELP2000-82 (Ephemeride Lunaire Parisienne) atau versi lebih baru untuk Bulan, digunakan untuk mendapatkan efemeris (tabel posisi) yang presisi. Untuk akurasi tertinggi, perhitungan ini harus mencakup koreksi untuk presesi dan nutasi guna mentransformasikan posisi dari epos standar ke epos tanggal pengamatan.³⁹
2. Penentuan Waktu ijtima (Konjungsi Astronomis)
Berdasarkan efemeris Matahari dan Bulan, waktu terjadinya ijtima dihitung. Ijtima terjadi ketika bujur ekliptika geosentris Bulan sama dengan bujur ekliptika geosentris Matahari. Momen ini menandai fase bulan baru astronomis dan menjadi titik referensi untuk menghitung usia bulan.

3. **Penentuan Waktu Terbenam Matahari (Ghurub) untuk Lokasi Tertentu:**
Waktu terbenam Matahari dihitung untuk lokasi geografis (lintang dan bujur) pengamat pada tanggal yang relevan (biasanya hari ke-29 bulan Kamariyah berjalan, yaitu hari terjadinya ijtima' atau sehari setelahnya). Perhitungan ini juga mempertimbangkan ketinggian pengamat di atas permukaan laut dan refraksi atmosfer.
4. **Perhitungan Posisi Bulan pada Saat Matahari Terbenam:**
Setelah waktu terbenam Matahari diketahui, posisi Bulan (ketinggian, azimut, elongasi dari Matahari, usia, dan parameter lainnya seperti lebar sabit) dihitung secara spesifik untuk momen tersebut di lokasi pengamat. Data ini krusial untuk menilai apakah hilal berpotensi terlihat.
5. **Aplikasi Kriteria Visibilitas Hilal:**
Parameter-parameter posisi Bulan yang telah dihitung kemudian dibandingkan dengan kriteria visibilitas hilal yang dipilih (misalnya, kriteria Neo MABIMS, Odeh, atau lainnya). Kriteria ini akan menentukan apakah kondisi hilal pada saat itu memenuhi ambang batas minimal untuk dapat terlihat.
6. **Penentuan Awal Bulan Baru:**
 - Jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa hilal memenuhi kriteria visibilitas yang digunakan pada saat matahari terbenam pada hari ke-29, maka malam tersebut dianggap sebagai awal tanggal 1 bulan baru Hijriah, dan keesokan harinya adalah hari pertama bulan baru.
 - Jika hilal tidak memenuhi kriteria, maka bulan berjalan dengenapkan (istikmal) menjadi 30 hari, dan bulan baru dimulai pada hari berikutnya (lusa).

Perangkat lunak astronomi modern dan kalkulator hilal biasanya mengimplementasikan algoritma ini dengan berbagai tingkat kompleksitas dan akurasi.⁶¹ Sumber seperti ⁶³ dan ⁶⁴ lebih menekankan pada aspek rukyat tradisional, namun perhitungan astronomis (hisab) seringkali digunakan sebagai panduan awal dalam pelaksanaan rukyat. Keakuratan setiap langkah dalam algoritma ini, mulai dari model gerak benda langit hingga penerapan kriteria visibilitas, sangat menentukan keandalan prediksi awal bulan Hijriah secara astronomis.

5.3.5 Konsep Julian Day Number (JDN) dalam Konversi

Julian Day Number (JDN) atau Angka Hari Julian adalah sistem perhitungan hari secara berkelanjutan yang sangat berguna dalam astronomi dan konversi kalender. JDN menghitung jumlah hari yang telah berlalu sejak tengah hari Waktu Universal (UT) atau Waktu Terrestrial (TT) pada tanggal 1 Januari 4713 SM menurut kalender Julian proleptik.⁶⁵

Fungsi Julian Day Number:

Fungsi utama JDN dalam konteks konversi kalender adalah sebagai "jembatan" atau sistem perantara yang netral antara berbagai sistem kalender yang berbeda. Setiap tanggal dalam kalender apapun (Gregorian, Hijriah, Julian, dll.) dapat dikonversi menjadi JDN yang unik, dan sebaliknya, JDN dapat dikonversi kembali menjadi tanggal dalam sistem kalender tertentu. Proses konversi antara dua kalender, misalnya Hijriah (H) dan Masehi (M), dapat dilakukan melalui JDN dengan skema:

- Konversi $H \rightarrow M$: Tanggal $H \rightarrow JDN \rightarrow$ Tanggal M
- Konversi $M \rightarrow H$: Tanggal $M \rightarrow JDN \rightarrow$ Tanggal H

Keterkaitan JDN dengan Epos Standar:

Epos standar dalam astronomi, seperti J2000.0, juga memiliki padanan JDN. Sebagai contoh, epos J2000.0 didefinisikan sebagai 1 Januari 2000, pukul 12:00 TT, yang setara dengan JD 2451545.0 TT.⁴³ Penggunaan JDN memungkinkan perhitungan interval waktu antara dua tanggal dari sistem kalender yang berbeda dengan mudah.

Algoritma Konversi Terkait JDN:

Terdapat algoritma matematis yang telah mapan untuk melakukan konversi antara tanggal Gregorian dan JDN, serta sebaliknya.

- Konversi Tanggal Gregorian ke JDN: Algoritma ini melibatkan perhitungan berdasarkan tahun, bulan, dan hari dalam kalender Gregorian. Rumus yang umum digunakan dapat ditemukan dalam literatur astronomi dan sumber-sumber otoritatif seperti yang disediakan oleh U.S. Naval Observatory atau Claus Tondering.⁶⁵ Sebagai contoh, rumus yang valid untuk rentang tahun tertentu (misalnya, AD 1801–2099) adalah:

$$JD = 367K - [(7(K + [(M + 9)/12]))/4] + [(275M)/9] + I + 1721013.5 + UT1/24 - 0.5 \text{sign}(100K + M - 190002.5) + 0.5$$

Di mana K adalah tahun, M adalah bulan, I adalah hari, dan $UT1$ adalah Waktu Universal dalam jam. Fungsi $[...]$ adalah fungsi pembulatan ke bawah (floor/truncation).⁶⁵

Untuk rentang tanggal yang lebih umum, formula lain yang sering digunakan adalah:

$$\begin{aligned} a &= [(14 - \text{bulan})/12] \\ y &= \text{tahun} + 4800 - a \\ m &= \text{bulan} + 12a - 3 \end{aligned}$$

$JDN = hari + [(153m+2)/5] + 365y + [y/4] - [y/100] + [y/400] - 32045$
(untuk kalender Gregorian).⁶⁶

- Konversi JDN ke Tanggal Gregorian: Algoritma sebaliknya juga tersedia untuk mengubah JDN kembali menjadi tahun, bulan, dan hari Gregorian.⁶⁵ Contohnya, dari ⁶⁶:

$a = JDN + 32044$

$b = [(4a+3)/146097]$

$c = a - [(146097b)/4]$

Kemudian:

$d = [(4c+3)/1461]$

$e = c - [(1461d)/4]$

$k = [(5e+2)/153]$

Maka:

Hari = $e - [(153k+2)/5] + 1$

Bulan = $k + 3 - 12 \times [k/10]$

Tahun = $100b + d - 4800 + [k/10]$

- **Konversi Terkait Kalender Hijriah:** Konversi antara tanggal Hijriah (baik Urfi maupun astronomis) ke JDN dan sebaliknya lebih kompleks. Untuk kalender Hijriah Urfi, karena polanya tetap, algoritma matematis dapat disusun berdasarkan siklus 30 tahun. Namun, untuk kalender Hijriah astronomis yang bergantung pada kriteria visibilitas hilal atau ijtima aktual, konversi ke JDN memerlukan perhitungan posisi Bulan dan Matahari terlebih dahulu untuk menentukan awal setiap bulan, baru kemudian menghitung akumulasi hari. Sebaliknya, dari JDN ke tanggal Hijriah astronomis juga memerlukan iterasi atau pencarian awal bulan Hijriah yang mencakup JDN tersebut.

Penggunaan JDN menyederhanakan banyak perhitungan yang melibatkan interval waktu dan perbandingan tanggal antar kalender yang berbeda, menjadikannya alat fundamental dalam kronologi dan astronomi komputasional.

5.4 Membangun Fungsi Konversi Kalender dengan Python

Bahasa pemrograman Python, dengan ketersediaan berbagai pustaka (libraries) ilmiah dan kemudahan penggunaannya, menawarkan alat yang efektif untuk melakukan konversi antara kalender Hijriah dan Masehi. Bagian ini akan memperkenalkan beberapa pustaka Python yang relevan dan menyajikan contoh kode dasar untuk melakukan konversi dua arah.

5.4.1 Pengenalan Pustaka Python untuk Kalender Islam

Beberapa pustaka Python telah dikembangkan untuk memfasilitasi perhitungan terkait kalender Islam, termasuk konversi tanggal. Di antara pustaka yang sering digunakan adalah:

1. **hijri-converter**: Pustaka ini dirancang untuk melakukan konversi yang akurat antara tanggal Hijriah dan Gregorian berdasarkan kalender Ummul Qura. Pustaka ini dikenal karena akurasi untuk rentang tanggal tertentu yang didukung oleh kalender Ummul Qura.⁶⁷ Dokumentasinya dapat ditemukan di <https://hijri-converter.readthedocs.io>.⁶⁹ Perlu diperhatikan bahwa pustaka ini memiliki batasan rentang tanggal, yaitu dari awal 1343 H (1 Agustus 1924 M) hingga akhir 1500 H (16 November 2077 M) dan tidak ditujukan untuk keperluan religius yang mensyaratkan rukyat.²⁵
2. **umalqurra**: Pustaka ini juga menyediakan API untuk konversi antara tanggal Gregorian dan Hijriah, serta informasi tambahan seperti nama hari dan bulan dalam bahasa Arab dan Inggris. Seperti namanya, pustaka ini juga berbasis pada kalender Ummul Qura.⁶⁸ Algoritma yang digunakan merupakan terjemahan dari kode JavaScript yang dikembangkan oleh Suhail Alkowiileet.⁶⁸
3. **pyslslam**: Pustaka ini memiliki cakupan fitur yang lebih luas, termasuk perhitungan waktu salat, arah kiblat, dan konversi tanggal Hijriah/Gregorian.⁷² Meskipun menyediakan fungsi konversi, detail mengenai algoritma spesifik atau basis kalender (misalnya, apakah murni Ummul Qura atau mendukung metode lain) kurang dijabarkan secara eksplisit dalam sumber yang tersedia.
4. **hijridate**: Ini adalah pustaka Python lain yang berfokus pada konversi antara tanggal Hijriah dan Gregorian menggunakan kalender Ummul Qura. Pustaka ini menekankan akurasi, kinerja yang dioptimalkan, antarmuka yang intuitif, dan dukungan multilingual. Sama seperti hijri-converter, hijridate juga memiliki batasan rentang tanggal yang didukung, yaitu dari awal 1343 H (1 Agustus 1924 M) hingga akhir 1500 H (16 November 2077 M), dan konversinya tidak ditujukan untuk tujuan religius yang memerlukan observasi hilal.²⁴ Dokumentasi lengkapnya tersedia di <https://hijridate.readthedocs.io>.²⁴

Ketika memilih pustaka untuk konversi kalender, penting untuk mempertimbangkan beberapa faktor:

- **Basis Kalender yang Digunakan**: Sebagian besar pustaka di atas menggunakan kalender Ummul Qura sebagai dasarnya. Jika diperlukan konversi berdasarkan kriteria hisab lain (misalnya, Wujudul Hilal Muhammadiyah atau Imkanur Rukyat MABIMS), pustaka ini mungkin tidak secara langsung mendukungnya atau

memerlukan penyesuaian.

- **Akurasi dan Rentang Tanggal:** Periksa dokumentasi pustaka mengenai tingkat akurasi yang diklaim dan rentang tanggal yang didukung.
- **Kemudahan Penggunaan dan Dokumentasi:** Pustaka dengan dokumentasi yang baik dan antarmuka yang intuitif akan lebih mudah digunakan.
- **Ketergantungan (Dependencies):** Beberapa pustaka mungkin memiliki ketergantungan pada pustaka lain, sementara yang lain (seperti hijridate) dirancang tanpa ketergantungan eksternal.²⁴

Untuk contoh kode berikut, akan digunakan pustaka hijridate karena dokumentasinya yang cukup jelas dan fitur yang relevan untuk konversi dasar.

5.4.2 Contoh Kode Konversi Masehi ke Hijriah

Berikut adalah contoh kode Python menggunakan pustaka hijridate untuk mengkonversi tanggal Masehi ke tanggal Hijriah:

Python

```
from hijridate import Gregorian

# 1. Tentukan tanggal Masehi yang akan dikonversi
# Format: Gregorian(tahun, bulan, hari)
gregorian_year = 2024
gregorian_month = 7
gregorian_day = 26
greg_date = Gregorian(gregorian_year, gregorian_month, gregorian_day)

# 2. Lakukan konversi ke tanggal Hijriah
# Metode.to_hijri() akan mengembalikan objek Hijri
hijri_date = greg_date.to_hijri()

# 3. Cetak hasil konversi
print(f"Tanggal Masehi: {greg_date.year}-{greg_date.month:02d}-{greg_date.day:02d}")
print(f"Tanggal Hijriah (Ummul Qura): {hijri_date.day} {hijri_date.month_name('ar')} {hijri_date.year} H")
# Untuk mendapatkan representasi numerik standar:
print(f"Representasi Numerik Hijriah: {hijri_date.year}-{hijri_date.month:02d}-{hijri_date.day:02d} H")
```

```
# Contoh output untuk 26 Juli 2024:  
# Tanggal Masehi: 2024-07-26  
# Tanggal Hijriah (Ummul Qura): 20 محرم 1446 H  
# Representasi Numerik Hijriah: 1446-01-20 H
```

Penjelasan Kode:

1. `from hijridate import Gregorian`: Baris ini mengimpor kelas Gregorian dari pustaka hijridate. Kelas ini digunakan untuk merepresentasikan tanggal Masehi.
2. `greg_date = Gregorian(gregorian_year, gregorian_month, gregorian_day)`: Membuat objek `greg_date` yang menyimpan tanggal Masehi yang ingin dikonversi.
3. `hijri_date = greg_date.to_hijri()`: Metode `to_hijri()` pada objek Gregorian melakukan konversi dan mengembalikan objek baru bertipe Hijri yang merepresentasikan tanggal Hijriah hasil konversi.
4. `print(...)`: Mencetak tanggal Masehi asli dan tanggal Hijriah hasil konversi. Objek `hijri_date` memiliki atribut seperti `year`, `month`, `day`, dan metode `month_name('ar')` untuk mendapatkan nama bulan Hijriah dalam bahasa Arab.

5.4.3 Contoh Kode Konversi Hijriah ke Masehi

Berikut adalah contoh kode Python menggunakan pustaka hijridate untuk mengkonversi tanggal Hijriah ke tanggal Masehi:

Python

```
from hijridate import Hijri  
  
# 1. Tentukan tanggal Hijriah yang akan dikonversi  
# Format: Hijri(tahun, bulan, hari)  
hijri_year = 1445  
hijri_month = 12 # Zulhijah  
hijri_day = 19  
h_date = Hijri(hijri_year, hijri_month, hijri_day)  
  
# 2. Lakukan konversi ke tanggal Masehi  
# Metode.to_gregorian() akan mengembalikan objek Gregorian  
gregorian_date_result = h_date.to_gregorian()  
  
# 3. Cetak hasil konversi  
print(f"Tanggal Hijriah (Ummul Qura): {h_date.day} {h_date.month_name('ar')} {h_date.year} H")
```

```
print(f"Representasi Numerik Hijriah: {h_date.year}-{h_date.month:02d}-{h_date.day:02d} H")
print(f"Tanggal Masehi: {gregorian_date_result.year}-{gregorian_date_result.month:02d}-{gregorian_date_result.day:02d}")
```

```
# Contoh output untuk 19 Zulhijah 1445 H:
# Tanggal Hijriah (Ummul Qura): 19 ذو الحجة 1445 H
# Representasi Numerik Hijriah: 1445-12-19 H
# Tanggal Masehi: 2024-06-25
```

Penjelasan Kode:

1. `from hijridate import Hijri`: Baris ini mengimpor kelas `Hijri` dari pustaka `hijridate`. Kelas ini digunakan untuk merepresentasikan tanggal Hijriah.
2. `h_date = Hijri(hijri_year, hijri_month, hijri_day)`: Membuat objek `h_date` yang menyimpan tanggal Hijriah yang ingin dikonversi.
3. `gregorian_date_result = h_date.to_gregorian()`: Metode `to_gregorian()` pada objek `Hijri` melakukan konversi dan mengembalikan objek baru bertipe `Gregorian` yang merepresentasikan tanggal Masehi hasil konversi.
4. `print(...)`: Mencetak tanggal Hijriah asli dan tanggal Masehi hasil konversi. Objek `gregorian_date_result` memiliki atribut seperti `year`, `month`, dan `day`.

5.4.4 Penjelasan Kode dan Pertimbangan

Kode Python yang disajikan di atas menunjukkan betapa mudahnya melakukan konversi tanggal antara sistem Masehi dan Hijriah menggunakan pustaka modern seperti `hijridate`. Pustaka ini mengabstraksi kompleksitas perhitungan astronomis dan aturan kalender yang rumit yang mendasari kalender Ummul Qura. Pengguna cukup menyediakan tanggal input dalam format yang benar, dan pustaka akan menangani proses konversinya.

Namun, kemudahan ini datang dengan beberapa pertimbangan penting:

1. **Basis Kalender Ummul Qura**: Seperti telah disebutkan, pustaka `hijridate` (dan banyak pustaka serupa lainnya) secara spesifik menggunakan algoritma kalender Ummul Qura. Hasil konversi akan sesuai dengan sistem tersebut. Jika konversi diperlukan berdasarkan kriteria hisab yang berbeda (misalnya, Wujudul Hilal Muhammadiyah, Imkanur Rukyat MABIMS, atau rukyat lokal), maka hasil dari pustaka ini mungkin tidak relevan atau memerlukan penyesuaian lebih lanjut.
2. **Batasan Rentang Tanggal**: Pustaka `hijridate` memiliki batasan rentang tanggal yang didukung, yaitu dari 1 Muharam 1343 H (sekitar 1 Agustus 1924 M) hingga 29

Zulhijah 1500 H (sekitar 16 November 2077 M).²⁴ Konversi untuk tanggal di luar rentang ini tidak akan akurat atau mungkin menghasilkan kesalahan. Pengguna harus selalu memeriksa dokumentasi pustaka untuk batasan semacam ini.

3. **Tidak untuk Tujuan Religius yang Memerlukan Rukyat:** Dokumentasi hijridate secara eksplisit menyatakan bahwa konversinya tidak ditujukan untuk tujuan religius di mana observasi hilal (rukya) lebih diutamakan.²⁴ Ini menggarisbawahi bahwa kalender Ummul Qura adalah kalender sipil berbasis hisab, dan penetapan hari-hari besar keagamaan di beberapa wilayah mungkin melibatkan proses rukyat yang hasilnya bisa berbeda.
4. **Asumsi yang Melekat:** Setiap pustaka atau algoritma konversi memiliki asumsi dan metodologi yang melekat. Kemudahan penggunaan pustaka Python modern dapat berisiko membuat pengguna kurang menyadari asumsi dan batasan ini. Oleh karena itu, pemahaman konseptual tentang metode kalender yang berbeda (seperti yang dibahas dalam sub-bab sebelumnya mengenai kalender Urfi, Ummul Qura, Wujudul Hilal, dan perhitungan astronomis) tetap krusial. Pengguna harus memilih pustaka yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik mereka dan memahami implikasi dari metode yang digunakan oleh pustaka tersebut.

Dengan mempertimbangkan poin-poin di atas, penggunaan pustaka Python untuk konversi kalender dapat menjadi alat yang sangat efisien dan akurat, asalkan digunakan dengan pemahaman yang tepat mengenai kapabilitas dan batasannya.

5.5 Kesimpulan

Bab ini telah mengupas secara komprehensif berbagai aspek terkait konversi antara kalender Hijriah dan Masehi, mulai dari landasan historis dan struktural kalender Hijriah hingga implementasi praktis menggunakan teknologi komputasi modern. Beberapa poin kunci yang dapat dirangkum adalah sebagai berikut:

1. **Sejarah dan Struktur Kalender Hijriah:** Penetapan kalender Hijriah pada masa Khalifah Umar bin Khattab merupakan tonggak penting dalam peradaban Islam, dengan peristiwa Hijrah sebagai epos dan Muharam sebagai bulan pertama. Struktur dasarnya adalah Kamariyah murni, dengan 12 bulan yang panjangnya 29 atau 30 hari, serta siklus 30 tahun untuk menjaga keselarasan jangka panjang. Kalender Hijriah Urfi hadir sebagai varian konvensional yang menawarkan kepastian melalui aturan tetap jumlah hari per bulan.
2. **Metode Konversi Berbasis Tabel:** Algoritma konversi berbasis tabel, seperti yang merujuk pada kalender Ummul Qura dan sistem hisab hakiki Wujudul Hilal Muhammadiyah, menawarkan kemudahan dan kecepatan untuk penggunaan

umum. Kalender Ummul Qura, sebagai kalender sipil resmi Arab Saudi, telah mengalami evolusi metodologi dan menjadi rujukan luas, meskipun memiliki batasan dan potensi perbedaan dengan penetapan religius berbasis rukyat. Sementara itu, Wujudul Hilal Muhammadiyah memberikan kepastian tanggal jangka panjang berdasarkan kriteria hisab spesifik. Terakhir Kalender Hijriah Global Tunggal yang diinisiasi dari Konferensi Istambul 2016 kemudian diadopsi oleh Muhammadiyah menggantikan Wujudul Hilal dengan penekanan Matlak global dan satu hari satu tanggal.

3. **Perhitungan Kalender Hijriah Astronomis:** Pendekatan ini melibatkan perhitungan presisi posisi Matahari dan Bulan, dengan mempertimbangkan fenomena seperti presesi dan nutasi untuk akurasi tertinggi. Berbagai kriteria visibilitas hilal (*Imkanur Rukyat*), seperti MABIMS (termasuk Neo MABIMS dengan parameter tinggi 3° dan elongasi 6.4°), Odeh, dan Danjon, digunakan untuk menjembatani perhitungan astronomis dengan kemungkinan observasi visual hilal. Konsep *Julian Day Number* (JDN) juga memainkan peran vital sebagai sistem perantara universal dalam konversi antar kalender.
4. **Implementasi dengan Python:** Pustaka Python modern seperti *hijridate*, *umalqurra*, dan *hijri-converter* (umumnya berbasis Ummul Qura) sangat memudahkan proses konversi. Namun, pengguna harus menyadari basis kalender, batasan rentang tanggal, dan asumsi yang digunakan oleh pustaka tersebut. Kemudahan komputasional ini perlu diimbangi dengan pemahaman konseptual mengenai metode yang mendasarinya.

Penekanan pada **akurasi dan standarisasi** dalam konversi kalender tetap menjadi isu sentral, terutama mengingat implikasinya terhadap pelaksanaan ibadah dan kebutuhan administratif serta ilmiah. Perbedaan metode dan kriteria dalam penentuan awal bulan Hijriah masih menjadi tantangan global. Upaya menuju unifikasi kalender Islam, seperti gagasan Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) yang mulai diadopsi oleh beberapa pihak termasuk Muhammadiyah³¹, mencerminkan adanya kesadaran akan pentingnya kesatuan dalam penanggalan.

Untuk **penelitian atau pengembangan lebih lanjut**, beberapa area yang dapat dieksplorasi meliputi:

- Studi mendalam mengenai dampak sosial, keagamaan, dan psikologis dari perbedaan metode penetapan awal bulan Hijriah di berbagai komunitas Muslim.
- Pengembangan alat konversi kalender digital yang lebih fleksibel, yang memungkinkan pengguna untuk memilih atau membandingkan hasil berdasarkan berbagai kriteria hisab (Ummul Qura, Wujudul Hilal, Imkanur Rukyat dengan

berbagai parameternya) atau bahkan mengintegrasikan data hasil rukyat aktual dari berbagai lokasi.

- Analisis komparatif yang lebih ekstensif mengenai akurasi jangka panjang dari berbagai algoritma konversi kalender yang ada, terutama yang secara eksplisit dan dinamis memperhitungkan efek presesi, nutasi, dan perturbasi lainnya dalam model gerak Bulan dan Matahari.
- Kajian lebih lanjut mengenai implikasi penerapan kalender Islam global tunggal, baik dari aspek syariah, astronomi, maupun sosial-politik di tingkat nasional dan internasional.

Dengan pemahaman yang komprehensif terhadap sejarah, struktur, metode, dan tantangan dalam konversi kalender Hijriah dan Masehi, diharapkan dapat mendorong apresiasi yang lebih besar terhadap kompleksitas sistem penanggalan ini serta mendukung upaya-upaya menuju harmonisasi dan akurasi yang lebih baik di masa depan.

Karya yang dikutip

1. Hisab dan Rukyatul Hilal Oleh Drs, Baidhowi.HB,S.H | (31/10), diakses Mei 10, 2025, <https://www.ms-aceh.go.id/berita-artikel-galeri/artikel/174-hisab-dan-rukayatul-hilal-oleh-drs-baidhowihbsh--3110.html>
2. journal.uin-alaudhin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alaudhin.ac.id/index.php/hisabuna/article/download/36155/16902/>
3. Sejarah 1 Muharam: Awal Mula Penetapan Kalender Hijriah oleh ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jogja/berita/d-7423831/sejarah-1-muharam-awal-mula-penetapan-kalender-hijriah-oleh-umar-bin-khattab>
4. Sejarah Kalender Hijriah dan 7 Fakta Menariknya, Muslim Perlu Tahu! - detikcom, diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jabar/jabar-gaskeun/d-7421939/sejarah-kalender-hijriah-dan-7-fakta-menariknya-muslim-perlu-tahu>
5. Sejarah Kalender Hijriah | J-CEKI : Jurnal Cendekia Ilmiah, diakses Mei 10, 2025, <https://ulilalbabinstitute.id/index.php/J-CEKI/article/view/4483>
6. PENYESUAIAN KALENDER SAKA DENGAN KALENDER ..., diakses Mei 10, 2025, <https://syariah.uin-malang.ac.id/penyesuaian-kalender-saka-dengan-kalender-hijriah-dan-aplikasinya-dalam-penentuan-awal-bulan-qomariyah/>
7. 12 Nama Bulan Hijriah, Makna dan Keutamaannya dalam Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://bmm.or.id/artikel/12-nama-bulan-hijriah-makna-dan-keutamaannya-dalam-islam-stU>
8. Sejarah Nama-nama Bulan Kalender Hijriah: Memiliki Makna ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.com/skola/read/2025/01/24/190000269/sejarah-nama-nama-bulan-kalender-hijriah-memiliki-makna-mendalam>

9. Mengenal Perbedaan Dasar Perhitungan Kalender Hijriah dan Masehi - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://nu.or.id/nasional/mengenal-perbedaan-dasar-perhitungan-kalender-hijriah-dan-masehi-nTv3K>
10. Penanggalan yang selama ini dikenal, terdapat tiga macam sistem, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/7528/2/135212018_bab1.pdf
11. ojs.daarulhuda.or.id, diakses Mei 10, 2025, <https://ojs.daarulhuda.or.id/index.php/MHI/article/download/951/991>
12. The Triple Helix Theory as a Solution for the Unification of the Hijri Calendar in Indonesia - Jurnal Unisai, diakses Mei 10, 2025, <https://www.ejournal.unisai.ac.id/index.php/jiaf/article/download/871/748>
13. TELAAH KRITIS METODE HISAB PENENTUAN AWAL RAMADHAN ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlangsa.ac.id/index.php/jurisprudensi/article/download/1076/800/>
14. FORMULASI KALENDER HIJRIAH DALAM PENDEKATAN HISTORIS-ASTRONOMIS - UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/12113/1/Disertasi_1600039001_Anisah_Budiwati.pdf
15. Tabular Islamic calendar - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Tabular_Islamic_calendar
16. Telaah Awal Kalender Hijriah Global Tunggal Jamaluddin 'Abd al-razik - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/29/28/52>
17. PEMIKIRAN MOHAMMAD ILYAS TENTANG PENYATUAN KALENDER ISLAM INTERNASIONAL - Journals UMS, diakses Mei 10, 2025, <https://journals.ums.ac.id/index.php/profetika/article/download/2096/1486>
18. 5 Keunggulan Desain Kalender Elegan Untuk Pemasaran - Sribu, diakses Mei 10, 2025, <https://www.sribu.com/id/blog/pemasaran-desain-kalender-elegan/>
19. download.garuda.kemdikbud.go.id, diakses Mei 10, 2025, <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=772694&val=10950&title=SISTEM%20INFORMASI%20PERHITUNGAN%20AWAL%20BULAN%20PASARAN%20HARI%20DAN%20KONVERSI%20DARI%20TAHUN%20MASEHI%20KE%20TAHUN%20HIJRIAH%20DENGAN%20METODE%20ILMU%20FALAQ>
20. Pemikiran Kalender Muhammad Basil ath-Tha'i Dalam Kitab “Ilm al-Falak wa at-Taqa'wim”, diakses Mei 10, 2025, <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=736284&val=11589&title=Pemikiran%20Kalender%20Muhammad%20Basil%20ath-Thai%20Dalam%20Kitab%20Ilm%20al-Falak%20wa%20at-Taqa'wim>
21. Kalender Hijriah bisa Memberi Kepastian Setara dengan Kalender Masehi | ***** Dokumentasi T. Djamaluddin, diakses Mei 10, 2025, <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2011/01/06/kalender-hijriah-bisa-memberi-kepastian-setara-dengan-kalender-masehi/>
22. download.garuda.kemdikbud.go.id, diakses Mei 10, 2025,

- <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1800132&val=6790&title=PENYATUAN%20KALENDER%20ISLAM>
23. The Umm al-Qura Calendar of Saudi Arabia - astronomical rules, diakses Mei 10, 2025, https://webpace.science.uu.nl/~gent0113/islam/ummalqura_rules.htm
 24. hijridate · PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/hijridate/>
 25. tabby_ai/hijri-converter - Yarn 1, diakses Mei 10, 2025, https://classic.yarnpkg.com/en/package/@tabby_ai/hijri-converter
 26. Hisab Hakiki Wujudul Hilal, Apa dan Bagaimana? | Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/02/hisab-hakiki-wujudul-hilal-apa-dan-bagaimana/>
 27. BAB I - Repository UIN Suska, diakses Mei 10, 2025, <http://repository.uin-suska.ac.id/7406/2/BAB%20I.pdf>
 28. Beda Hitungan Hisab dan Rukyat, Metode Penentuan Awal Bulan ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.cnnindonesia.com/edukasi/20250217125737-561-1199178/beda-hitungan-hisab-dan-rukya-metode-penentuan-awal-bulan-hijriah>
 29. Transformasi Hisab-Rukyat Dalam Penentuan Awal ... - Journal UIR, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uir.ac.id/index.php/alhikmah/article/download/14676/6397>
 30. ASTROISLAMICA Rekonstruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/3642/1454/16041>
 31. Lebaran 2025 Jadi Penanda Terakhirnya Metode Wujudul Hilal: Muhammadiyah Siap Terapkan KHGT Tahun Depan - Minangkabaunews.com, diakses Mei 10, 2025, <https://minangkabaunews.com/lebaran-2025-jadi-penanda-terakhirnya-metode-wujudul-hilal-muhammadiyah-siap-terapkan-khgt-tahun-depan/>
 32. Alasan Muhammadiyah Hijrah ke Kalender Islam Global - UMJ, diakses Mei 10, 2025, https://umj.ac.id/just_info/alasan-muhammadiyah-hijrah-ke-kalender-islam-global/
 33. 5 Cara Menghitung Hari Ini Tanggal Berapa Hijriah, Paling Mudah Cari di Internet, diakses Mei 10, 2025, <https://www.liputan6.com/hot/read/5246164/5-cara-menghitung-hari-ini-tanggal-berapa-hijriah-paling-mudah-cari-di-internet>
 34. osf.io, diakses Mei 10, 2025, <https://osf.io/2x7an/download/?format=pdf>
 35. Rotasi Bumi Kelompok 5 | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/document/410266149/Rotasi-Bumi-Kelompok-5>
 36. Presesi Sumbu Rotasi Bumi / Axial Precession – BumiDatar.id, diakses Mei 10, 2025, <https://bumidatar.id/presesi-sumbu>
 37. Precession of the equinoxes | Definition, Hipparchus, & Facts | Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/science/precession-of-the-equinoxes>
 38. Aries | Constellation, Zodiac, Sign, Symbol, Dates, & Facts | Britannica, diakses Mei 10, 2025, <https://www.britannica.com/place/Aries>
 39. Astronomical nutation - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_nutation
 40. Bradley Discovers the Nutation of Earth's Axis | EBSCO Research ..., diakses Mei

- 10, 2025, <https://www.ebsco.com/research-starters/history/bradley-discovers-nutation-earths-axis>
41. eprints.walisongo.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://eprints.walisongo.ac.id/6777/3/BAB%20II.pdf>
42. jurnal.ucy.ac.id, diakses Mei 10, 2025, https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/agama_islam/article/download/2024/1794
43. Epoch (astronomy) - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Epoch_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Epoch_(astronomy))
44. Equinox (celestial coordinates) - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_\(celestial_coordinates\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Equinox_(celestial_coordinates))
45. Nur Fadilah Muktiningsih | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/document/753497240/15122114-Nur-Fadilah-Muktiningsih>
46. Geodesi Satelit Tugas-3 | PDF | Sejarah - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/document/714202662/GEODESI-SATELIT-TUGAS-3>
47. 2 - Sistem Koordinat & Waktu | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/doc/190603199/2-Sistem-Koordinat-Waktu>
48. Tata Koordinat Langit Dan Astronomi Bola | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/document/764582771/Tata-Koordinat-Langit-Dan-Astronomi-Bola-1>
49. jurnal.ucy.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections/article/download/580/603/>
50. Mengenal Berbagai Sistem Koordinat dalam Astronomi - OIF UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://oif.umsu.ac.id/2022/06/mengenal-berbagai-sistem-koordinat-dalam-astronomi/>
51. Sistem koordinat ekliptika - Wikipedia bahasa Indonesia ..., diakses Mei 10, 2025, https://id.wikipedia.org/wiki/Sistem_koordinat_ekliptika
52. BAB II LANDASAN TEORI A. Macam-macam Sistem Koordinat Allah SWT menciptakan alam semesta ini dalam keadaan yang teratur rapi. Re, diakses Mei 10, 2025, <https://repository.ump.ac.id/6804/3/Alina%20Rahmatika%20Bab%20II.pdf>
53. PEMANFAATAN ANALISA MATEMATIS DALAM PENYELESAIAN PERMASALAHAN FIKIH - Jurnal Elektronik Universitas Cokroaminoto Yogyakarta, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections/article/download/580/603>
54. Uraian Materi Mekanika Benda Langit | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/doc/287036136/Uraian-Materi-Mekanika-Benda-Langit>
55. Sistem Koordinat Benda Langit - UMSU Press, diakses Mei 10, 2025, <https://umsupress.umsu.ac.id/wp-content/uploads/2024/05/9786234085006.pdf>
56. Vernal Equinox | COSMOS, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/v/Vernal+Equinox>
57. Solusi Soal-Soal Osn - Koordinat Bola Langit | PDF | Ilmu Sosial ..., diakses Mei 10, 2025, <https://id.scribd.com/doc/56852806/Solusi-Soal-soal-Osn-Koordinat-Bola-Langit>

58. ASTROISLAMICA Pandangan Tokoh Falak tentang Elongasi pada ..., diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.iainhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/2762/1330/13061>
59. journal.uin-alaudidin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alaudidin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/23945/12193>
60. BAB II TEORI VISIBILITAS HILAL A. Definisi Visibilitas Hilal Hisab Imkan Rukyat secara harfiah hisab imkan rukyat berarti perhit, diakses Mei 10, 2025,
<https://eprints.walisongo.ac.id/5779/3/BAB%20II.pdf>
61. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining Astronomy and Rukyat in Hilal Determination - BRIN, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukya-in-hilal-determination>
62. Accurate Hijri Calculator (AHC) | A tool for calculating Islamic Lunar Calendar, diakses Mei 10, 2025, <https://accuhijri.github.io/>
63. The process of determining Rosh Chodesh in times of the Sanhedrin, diakses Mei 10, 2025, <https://shulchanaruchharav.com/the-process-of-determining-rosh-chodesh-in-times-of-the-sanhedrin/>
64. The criterion of deciding the beginning of a Hijri month - Islam Question & Answer, diakses Mei 10, 2025, <https://islamqa.info/en/answers/110350/the-criterion-of-deciding-the-beginning-of-a-hijri-month>
65. Converting Between Julian Dates and Gregorian Calendar Dates, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/faq/JD_formula
66. The Julian Period - Claus Tøndering, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.tondering.dk/claus/cal/julperiod.php>
67. Islamic tools - ArchWiki, diakses Mei 10, 2025,
https://wiki.archlinux.org/title/Islamic_tools
68. tytkal/python-hijiri-ummalqura - GitHub, diakses Mei 10, 2025,
<https://github.com/tytkal/python-hijiri-ummalqura>
69. Accurate Hijri-Gregorian date converter based on the Umm al-Qura calendar - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/impubes/hijri-converter>
70. ummalqura - PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/ummalqura/>
71. QuantumPrayerTimes/hijricalendar: Python Umalkurra Calender is an API that will give you the ability to convert Gregorian to Hijri and Hijri to Gregorian. - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/QuantumPrayerTimes/hijricalendar>
72. abougouffa/pyIslam: pyIslam, a Python library to calculate ... - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/abougouffa/pyIslam>
73. 10+ Awesome Islamic Tools and Projects - Shahed Nasser, diakses Mei 10, 2025,
<https://blog.shahednasser.com/10-awesome-islamic-tools-and-projects/>
74. pyIslam/README.md at master · abougouffa/pyIslam · GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/abougouffa/pyIslam/blob/master/README.md>
75. Kalender Hijriah Global Tunggal : Menghapus Batasan, Menyatukan Ibadah, diakses Mei 10, 2025, <https://umsb.ac.id/berita/index/1596-kalender-hijriah->

[global-tunggal-menghapus-batasan-menyatukan-ibadah](#)

76. URGENSI PENYATUAN KALENDER HIJRIAH GLOBAL - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/24872/15930>

BAB VI

KALENDER HIJRIAH GLOBAL TUNGGAL (KHGT)

6.1 Pendahuluan: Konsep, Urgensi, dan Tujuan KHGT

Masalah penyatuan kalender Islam tampaknya menjadi persoalan yang abadi, di mana hingga saat ini belum ada kalender Islam yang seragam untuk menentukan hari-hari besar Islam secara konsisten di seluruh dunia. Meskipun umat Islam telah melalui peradaban lebih dari 14 abad, upaya untuk menciptakan kalender Islam yang universal belum berhasil. Dalam praktiknya, umat Islam menggunakan berbagai jenis kalender dengan sistem yang berbeda, menyebabkan variasi dalam penentuan tanggal kamariah. Gagasan kalender Islam global telah diserukan setidaknya sejak tahun 1358 H/1939 M oleh Syeh Ahmad Muhammad Syakir, dan terus dikembangkan dengan konsep zona kalender (zonal) oleh Mohammad Ilyas (1978 M) dan Nidhal Guessoum (1993 M, disempurnakan menjadi bizonal), serta konsep satu hari satu tanggal di seluruh dunia oleh Jamaluddin 'Abd ar-Raziq (2004 M) yang diadopsi oleh ISESCO (2009 M). KHGT kemudian dipilih dalam Konferensi Internasional Penyatuan Kalender Islam di Istanbul, Turki, tahun 1438 H/2016 M.

Sebelum adanya KHGT, umat Islam kesulitan menjawab masalah perbedaan jatuhnya hari Arafah terkait pelaksanaan puasa sunah Arafah, sebagian mengikuti wukuf di Arafah, sebagian mengikuti penetapan di wilayah masing-masing. Solusi atas masalah ini adalah penerimaan Kalender Islam Global Tunggal oleh seluruh umat Islam.

Muhammadiyah memandang perlu adanya upaya penyatuan kalender Hijriah yang berlaku secara internasional untuk memberikan kepastian dan dapat dijadikan kalender transaksi, yang memerlukan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi. Muhammadiyah sebagai organisasi berkemajuan telah melakukan kajian panjang tentang Kalender Islam Global sejak tahun 1428 H/2007 M. Keputusan Muhammadiyah untuk mengadopsi KHGT merupakan langkah signifikan yang didasari pertimbangan strategis dan amanat organisasi. Mukhtar Muhammadiyah ke-47 (2015) dan ke-48 (2022) secara konsisten mengamanatkan upaya serius untuk mewujudkan penyatuan kalender Hijriah internasional/global. Dorongan ini muncul dari keinginan memberikan solusi atas problematika perbedaan penentuan awal bulan kamariah yang kerap terjadi baik di tingkat nasional maupun global, yang mengganggu kemaslahatan dan persatuan umat.

Peralihan menuju KHGT menandai evolusi penting dalam metodologi penentuan

kalender Muhammadiyah, yang sebelumnya konsisten menggunakan metode hisab hakiki dengan kriteria Wujudul Hilal. Kriteria Wujudul Hilal menetapkan awal bulan baru jika hilal sudah berada di atas ufuk saat matahari terbenam setelah ijtima, tanpa memandang ketinggian positifnya. Meskipun Wujudul Hilal dipandang kuat dan absah secara syar'i dan sains, keberlakuannya terbatas pada skala lokal/nasional (wilayah hukum). Adopsi KHGT merupakan langkah strategis untuk beralih dari wawasan lokal/nasional ke wawasan global dengan mengadopsi prinsip ittihadul matali'. Keputusan ini diambil melalui kajian mendalam Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, mempertimbangkan argumen syar'i (fikih) dan prinsip kemaslahatan (maqasid syariah).

Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) merupakan sebuah sistem penanggalan Islam yang dirancang dengan ambisi besar untuk menyatukan umat Islam di seluruh penjuru dunia dalam menentukan permulaan bulan-bulan kamariah, terutama yang berkaitan erat dengan pelaksanaan ibadah inti seperti Ramadan, Syawal, dan Zuhijah.¹ Konsep fundamental yang diusung oleh KHGT adalah prinsip "satu hari satu tanggal di seluruh dunia".⁶ Implementasi prinsip ini mengartikan bahwa apabila suatu tanggal dalam kalender Hijriah jatuh pada hari tertentu, misalnya hari Senin, maka hari Senin tersebut akan berlaku sebagai tanggal yang sama di semua belahan bumi, tanpa memandang perbedaan geografis. Pendekatan ini secara inheren berbeda dengan praktik kalender lokal atau regional yang selama ini seringkali menyebabkan divergensi tanggal di antara negara-negara Muslim.¹

Urgensi akan penyatuan kalender Islam di era kontemporer yang semakin terglobalisasi menjadi landasan kuat bagi pengembangan KHGT. Perbedaan dalam metode penetapan awal bulan Hijriah yang selama ini terjadi tidak jarang menimbulkan kebingungan, bahkan perpecahan, di tengah-tengah komunitas Muslim, khususnya dalam konteks pelaksanaan ibadah yang bersifat komunal.³ Lebih lanjut, arus globalisasi yang ditandai dengan interkoneksi yang tinggi antar umat Islam di berbagai belahan dunia menuntut adanya sebuah sistem waktu yang terpadu, sinkron, dan dapat diandalkan oleh semua pihak.⁸ Dalam konteks ini, KHGT tidak hanya dipandang sebagai solusi teknis, tetapi juga sebagai sebuah "utang peradaban" bagi umat Islam yang perlu segera dilunasi untuk menunjukkan keteraturan, kemajuan, dan kesatuan.⁶

Tujuan utama yang diemban oleh KHGT bersifat multidimensional. **Pertama**, dan yang paling fundamental, adalah untuk mewujudkan kesatuan (*ummatan wahidatan*) dan kebersamaan umat Islam secara global dalam sistem penanggalan dan,

konsekuensinya, dalam pelaksanaan ibadah.¹ **Kedua**, KHGT bertujuan untuk menghilangkan atau setidaknya meminimalkan perselisihan dan perbedaan pendapat yang kerap muncul terkait penetapan awal bulan kamariah.⁴ **Ketiga**, sistem ini diharapkan dapat memberikan kepastian waktu yang sangat dibutuhkan, tidak hanya untuk pelaksanaan ibadah-ibadah penting seperti puasa Ramadan, Idulfitri, Iduladha, dan puasa Arafah, tetapi juga untuk berbagai aktivitas sipil dan administratif lainnya bagi individu, komunitas, maupun negara.¹

Secara filosofis dan metodologis, KHGT dibangun di atas prinsip *Ittihadul Mathali'* (kesatuan matlak global). Prinsip ini memandang keseluruhan permukaan bumi sebagai satu zona waktu tunggal dalam konteks penetapan awal bulan.⁹ Implikasinya, apabila hilal (bulan sabit muda) telah memenuhi kriteria visibilitas yang ditetapkan di salah satu bagian bumi, maka penetapan awal bulan baru tersebut secara otomatis berlaku untuk seluruh dunia, tanpa terkecuali.

Dorongan utama di balik pengembangan dan advokasi KHGT tampaknya tidak semata-mata bersifat teknis-astronomis, melainkan lebih berakar pada aspirasi sosio-religius yang mendalam, yaitu manifestasi nyata dari persatuan umat Islam di tingkat global. Hal ini tercermin dari penekanan yang konsisten pada narasi "kesatuan umat," "kebersamaan," dan "penghilangan perselisihan" dalam berbagai literatur dan diskusi mengenai KHGT.¹ Meskipun aspek-aspek astronomis dan kriteria saintifik memegang peranan penting, dampak sosial dan keagamaan dari sebuah kalender yang terunifikasi menjadi fokus utama. Ini mengindikasikan bahwa problem yang ingin diatasi oleh KHGT melampaui sekadar perbedaan metodologi hisab dan rukyat; ia menyentuh isu identitas kolektif dan kohesi sosial umat Islam dalam skala internasional. Upaya ini juga dapat dilihat sebagai respons terhadap kritik bahwa umat Islam hingga kini belum mampu menyepakati hal fundamental seperti sistem kalender, sebuah kondisi yang oleh sebagian kalangan dianggap sebagai "utang peradaban" yang harus dituntaskan.⁶

Penggunaan terminologi "Global Tunggal" dalam KHGT juga membawa implikasi penting. Istilah ini secara eksplisit menyiratkan penolakan terhadap konsep kalender zonal atau kalender regional sebagai solusi final dalam unifikasi penanggalan Islam, meskipun beberapa model kalender zonal pernah diajukan dan dipertimbangkan di masa lalu.²¹ Pemilihan kata "Tunggal" (Unified/Single) menandakan sebuah pilihan sadar untuk mengatasi fragmentasi sistem waktu Islam, bahkan jika implementasinya menghadirkan kompleksitas yang lebih besar dibandingkan dengan pendekatan zonal. Keputusan untuk mengadopsi model kalender tunggal, sebagaimana yang terjadi dalam Konferensi Istanbul 2016²², merupakan sebuah pernyataan filosofis mengenai

bagaimana seharusnya kalender Islam berfungsi secara ideal di era modern yang saling terhubung ini.

6.2 Argumen Syar'i dan Sains

6.2.1 Argumen Syar'i

- **QS al-Isra' (17): 12** dan **QS Yunus (10): 5** menyebutkan Allah menjadikan matahari dan bulan sebagai tanda waktu, serta menetapkan manzilah-manzilah perjalanan bulan agar manusia mengetahui bilangan tahun dan perhitungan. Ini mengisyaratkan pentingnya perhitungan (hisab) dalam penentuan waktu dan kalender.
- **QS al-Baqarah (2): 189** menyatakan bulan sabit adalah tanda waktu bagi manusia (lin-nās) dan untuk haji. Pernyataan "bagi manusia" menunjukkan keumuman dan keberlakuan kalender secara universal bagi seluruh manusia di muka bumi, sehingga ayat ini ditafsirkan sebagai dasar kalender Islam global. Fungsi religius kalender Islam dicerminkan oleh kata *al-hajj*, dan puncak haji adalah wukuf di Arafah. Agar hari Arafah jatuh pada hari yang sama di seluruh dunia, diperlukan kalender hijriah global tunggal. Ayat ini juga dipahami mendukung gagasan universalisme Islam.
- **QS at-Taubah (9): 36-37** menegaskan jumlah bulan adalah dua belas bulan, di antaranya ada empat bulan haram, dan itu adalah ketetapan agama yang lurus (*ad-dīn al-qayyīm*). Agama yang lurus, menurut ayat-ayat ini, mencakup bertauhid, salat, zakat, dan mengikuti kalender akurat 12 bulan tanpa interkalasi. Pengunduran atau penundaan bulan haram adalah menambah kekafiran. Ini mengajarkan pentingnya kalender yang akurat dan bebas interkalasi, yang merupakan bagian dari makasid syariah.
- Hadis Nabi SAW seperti yang diriwayatkan dari Ibnu 'Umar tentang "Kita ini adalah ummat yang ummi..." dan hadis tentang kesatuan puasa dan hari raya ("*Ṣūmū yauma taṣūmūn, wal fiṭru yauma tuṭīrūn, wal aḍḥā yauma tuḍāḥḥūn*") dijadikan landasan normatif perlunya keseragaman waktu ibadah secara global. Para penggagas KHGT menggunakan hadis ini sebagai dasar bahwa kalender Islam wajib unifikatif, di mana awal bulan dimulai serentak di seluruh dunia tanpa mempertimbangkan perbedaan matlak.
- Pemahaman bahwa rukyat (pengamatan fisik) adalah *wasilah* (sarana) yang bersifat *mu'allalah* (memiliki sebab, yaitu kondisi ummiyah umat pada masa Nabi).

Konsekuensinya, sarana yang lebih akurat, pasti, dan mampu menyatukan umat global (hisab global) menjadi lebih utama dan sejalan dengan semangat ajaran Islam. Umat Islam sekarang bukan lagi ummi dan sudah bisa berhitung (hisab).

6.2.2 Argumen Sains

- Fase-fase Bulan adalah fenomena astronomis global yang terbentuk dan tidak bergantung pada rotasi Bumi. Fase Bulan terus membesar dari detik ke detik akibat Bulan mengitari Bumi, tidak peduli apakah hilal di atas atau di bawah ufuk, atau terlihat atau tidak.
- ijtimak (konjungsi) adalah titik nol yang mengakhiri siklus sinodis Bulan, dan setelah ijtimak, fase Bulan mulai membesar kembali, menandai manzilah pertama.
- Visibilitas hilal adalah fenomena lokal akibat rotasi Bumi dan terkait dengan posisi hilal di atas ufuk lokal. Gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa hilal semakin besar seiring waktu (karena elongasi bertambah) meskipun berada di bawah ufuk di lokasi tertentu (misalnya Jakarta pagi hari), sementara benda langit yang sama diakui sebagai hilal di lokasi lain (misalnya Eropa atau Amerika saat matahari terbenam) karena berada di atas ufuk dan terlihat.
- Penjelasan ini menunjukkan bahwa ketinggian hilal tidak relevan sebagai ukuran fisik hilal, dan awal bulan sah meskipun tinggi hilal negatif saat Magrib karena hilal terus membesar di bawah ufuk. Ketinggian hilal di wilayah barat Bumi selalu lebih besar dari wilayah timur karena elongasi membesar seiring waktu. Ini bertentangan dengan akal sehat dan nalar akademis jika visibilitas lokal dijadikan satu-satunya penentu awal bulan.

6.2.3 Prinsip, Syarat, dan Parameter KHGT

KHGT menggunakan sistem lunar dengan prinsip satu hari satu tanggal di seluruh dunia.

1. Prinsip KHGT meliputi:

- **Keselarasan hari dan tanggal di seluruh dunia:** Satu hari satu tanggal secara global. Diperlukan titik referensi waktu global (GMT/WU) dan mekanisme jelas kapan tanggal dimulai dan berakhir secara global. Konsep hari universal membentang 48 jam untuk mencakup semua zona waktu. Hari universal dimulai dan berakhir pada tengah malam di garis bujur 180 derajat.

- **Penggunaan hisab:** Hisab dipandang sama kedudukannya dengan rukyat dan sah digunakan dalam penentuan awal bulan kamariah. Hisab harus didahulukan karena memberikan kepastian, memungkinkan penyusunan kalender jauh ke depan. Rukyat fisik memiliki keterbatasan karena hanya diketahui pada H-1 dan dipengaruhi faktor subjektif pengamat dan kondisi atmosfer. Kongres Falak di Abu Dhabi (2006 M) memutuskan problem kalender Islam hanya bisa diselesaikan dengan menerima hisab, seperti hisab dalam penentuan waktu salat.
- **Kesatuan matlak (Ittihadul Mathali’):** Seluruh permukaan bumi dianggap satu kesatuan matlak. Konsep keragaman matlak (ikhtilaf al-matali’) tidak dipedomani, menolak kalender zonal yang membagi bumi menjadi zona tanggal berbeda.
- **Transfer imkanu rukyat:** Prediksi astronomis potensi terlihatnya hilal di suatu tempat (kawasan barat) sebelum pukul 00:00 GMT, yang kemudian diberlakukan untuk seluruh dunia. Tujuannya agar kawasan timur tidak dipaksa masuk bulan baru sebelum ijtimak terjadi di wilayah mereka dan menjaga kesamaan tanggal. Dasar kebolehan transfer ini adalah keumuman hadis *ṣūmū li ru’yatihi* (berpuasalah kamu karena telah melihat hilal) yang ditafsirkan mencakup seluruh umat Islam di seluruh muka bumi. Pandangan ini dipegang dalam mazhab Hanafi, Maliki, dan Hanbali.
- **Permulaan hari universal:** Mengacu pada waktu universal (GMT/UTC), hari dimulai dan berakhir pada tengah malam di garis bujur 180 derajat. Alasan tidak menggunakan waktu terbenam matahari/terbit fajar sebagai dasar permulaan hari adalah karena waktu tersebut berubah setiap hari dan terkait dengan lokasi, tidak bersifat universal.

2. Syarat KHGT meliputi:

- Mampu menampung urusan agama dan dunia.
- Berdasarkan bulan kamariah dengan durasi 29 atau 30 hari.
- Unifikatif, satu hari satu tanggal di seluruh dunia.
- Tidak menyebabkan sekelompok Muslim di timur memasuki bulan baru sebelum ijtimak.
- Tidak memulai bulan baru sebelum yakin terjadi imkanu rukyat hilal di suatu tempat di muka bumi.

- Tidak menahan sekelompok Muslim di suatu kawasan untuk memasuki bulan baru sementara hilal telah terlihat jelas di ufuk mereka.

3. **Parameter KHGT** (merujuk Kriteria Istanbul 2016):

Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) dibangun di atas landasan metode hisab (perhitungan astronomis) yang akurat, namun tetap mengintegrasikan konsep *imkanur rukyat* (kemungkinan terlihatnya hilal) sebagai syarat validitasnya. Penggunaan hisab menjadi niscaya karena KHGT bertujuan untuk menyediakan sistem penanggalan yang prediktif dan dapat disusun untuk jangka waktu yang panjang, sebuah hal yang tidak mungkin dicapai jika hanya mengandalkan rukyat fisik semata.⁵ Meskipun demikian, KHGT tidak mengabaikan sama sekali aspek visibilitas hilal. Kriteria yang diadopsi merupakan bentuk dari *imkanur rukyat* global, yang berarti hilal harus *memungkinkan* untuk dilihat di suatu tempat di muka bumi berdasarkan parameter-parameter astronomis tertentu sebelum awal bulan baru dapat ditetapkan secara global.⁹

4. Mengacu pada hasil Konferensi Istanbul 2016, yang menjadi salah satu rujukan utama dalam perumusan KHGT, parameter-parameter astronomis kunci yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

- Seluruh kawasan dunia dianggap satu kesatuan, bulan baru dimulai bersamaan.
- Bulan baru dimulai jika di bagian bumi manapun, sebelum pukul 00:00 GMT, terpenuhi kriteria: **elongasi bulan-matahari minimal 8° ($\geq 8^\circ$)** dan **ketinggian hilal minimal 5° ($\geq 5^\circ$)** di atas ufuk saat matahari terbenam.
- Koreksi kalender dilakukan jika kriteria terpenuhi setelah tengah malam GMT, yaitu **apabila imkanu rukyat terjadi di suatu tempat dan ijtimak di New Zealand terjadi sebelum fajar, dan imkanu rukyat tersebut terjadi di wilayah daratan Benua Amerika**. Penetapan batas waktu ijtimak sebelum pukul 00:00 GMT berfungsi sebagai "pemicu" global.

Peran sentral dalam KHGT juga dimainkan oleh **waktu ijtimak (konjungsi) global**. ijtimak, atau konjungsi geosentris, adalah momen ketika matahari, bumi, dan bulan berada dalam satu garis bujur ekliptika yang sama, menandai fase bulan baru secara astronomis. Dalam kerangka KHGT, ijtimak harus terjadi sebelum pukul 00:00 GMT/WU (Waktu Universal atau Greenwich Mean Time). Momen ini menjadi patokan awal untuk memulai "hari universal" di mana proses pencarian kondisi *imkanur rukyat* global dimulai.⁹ Apabila kriteria elongasi dan tinggi hilal sebagaimana disebutkan di atas terpenuhi di suatu tempat di muka bumi *sebelum* pukul 00:00 GMT pada hari terjadinya

ijtimak, maka keesokan harinya ditetapkan sebagai tanggal 1 bulan baru untuk seluruh dunia. Terdapat pula ketentuan koreksi yang berlaku jika kriteria tersebut baru terpenuhi *setelah* pukul 00:00 GMT. Dalam kasus seperti ini, dengan mempertimbangkan visibilitas hilal di benua Amerika atau terjadinya ijtimak sebelum fajar di Selandia Baru, awal bulan baru tetap dapat dimulai pada hari itu juga demi menjaga prinsip "satu hari satu tanggal" secara konsisten di seluruh dunia.¹⁰

Fondasi filosofis yang paling mendasar dari KHGT adalah konsep *Ittihadul Mathali'* (kesatuan matlak global). Konsep ini memandang keseluruhan permukaan bumi sebagai satu *matlak* tunggal, atau satu zona tempat terbitnya hilal.⁹ Implikasi praktis dari prinsip ini adalah, apabila hilal telah memenuhi kriteria *imkanur rukyat* yang ditetapkan di satu lokasi mana pun di bumi (misalnya, di ujung barat benua Amerika), maka penetapan awal bulan baru tersebut secara otomatis berlaku untuk seluruh dunia. Ini mencakup wilayah-wilayah yang secara lokal mungkin belum dapat melihat hilal, atau bahkan di mana hilal secara astronomis belum wujud di atas ufuk mereka pada saat matahari terbenam lokal.⁹

Penerapan KHGT juga membawa implikasi terhadap konsep hari universal dan pengakuan terhadap Garis Tanggal Internasional (IDL). KHGT secara pragmatis mengakui dan menggunakan IDL yang telah ada dan berlaku secara sipil sebagai batas pergantian hari di tingkat global.⁹ Konsep "hari universal," yang dimulai dari pukul 00:00 GMT, menjadi krusial dalam menentukan kapan suatu hari kalender dimulai secara global, yang kemudian disesuaikan dengan zona waktu lokal di masing-masing wilayah. Durasi hari universal ini, dalam praktiknya, mencakup rentang waktu 48 jam untuk mengakomodasi seluruh zona waktu di bumi, dari satu sisi IDL ke sisi lainnya.²¹

Penetapan kriteria KHGT dengan elongasi $\geq 8^\circ$ dan tinggi hilal $\geq 5^\circ$ menunjukkan sebuah standar yang relatif lebih ketat jika dibandingkan dengan kriteria *Imkanur Rukyat* MABIMS (elongasi $\geq 6,4^\circ$, tinggi $\geq 3^\circ$)¹⁶ atau kriteria *Wujudul Hilal* yang sebelumnya digunakan oleh Muhammadiyah (tinggi hilal sekadar positif di atas ufuk, $> 0^\circ$).⁴⁷ Pilihan kriteria yang lebih tinggi ini menyiratkan adanya upaya untuk menetapkan standar visibilitas hilal yang lebih meyakinkan secara astronomis dan observasional untuk skala global. Meskipun hal ini berpotensi menyebabkan awal bulan jatuh lebih lambat dibandingkan jika menggunakan kriteria yang lebih longgar, tujuannya adalah untuk memastikan bahwa hilal tidak hanya sekadar "ada" atau "mungkin terlihat sangat tipis dalam kondisi ideal di suatu wilayah regional," tetapi "cukup jelas terlihat" sehingga dapat diterima secara lebih universal di berbagai kondisi atmosferik global. Ini dapat dipandang sebagai upaya mencari titik temu yang lebih konservatif namun diharapkan lebih pasti secara observasional.

Penerimaan terhadap Garis Tanggal Internasional (IDL) yang sudah ada merupakan sebuah langkah pragmatis yang diambil dalam perumusan KHGT. Langkah ini bertujuan

untuk menyelaraskan sistem penanggalan Islam global dengan sistem waktu sipil internasional yang telah mapan, sehingga menghindari kerumitan yang mungkin timbul dari upaya pembuatan garis tanggal baru yang spesifik untuk kalender Islam.⁹ Meskipun terdapat gagasan alternatif seperti Garis Tanggal Kamariah Internasional (GTKI) yang pernah diusulkan oleh Mohammad Ilyas²¹, keputusan KHGT untuk mengadopsi IDL yang ada menunjukkan preferensi terhadap solusi yang lebih mudah diintegrasikan dengan sistem global yang sudah berjalan. Ini merupakan sebuah bentuk kompromi antara idealisme untuk menciptakan kalender Islam yang sepenuhnya mandiri dengan realitas praktis dalam konteks dunia modern, di mana IDL sendiri merupakan sebuah konstruksi historis dan bukan fenomena alamiah murni.

Konsep "hari universal" yang memiliki durasi 48 jam, beserta patokan waktu *ijtimak* yang harus terjadi sebelum pukul 00:00 GMT, merupakan sebuah rekayasa teknis yang dirancang untuk mengatasi tantangan perbedaan zona waktu yang ekstrem di seluruh penjuru dunia. Tujuan utamanya adalah agar prinsip fundamental KHGT, yaitu "satu hari satu tanggal," dapat ditegakkan secara konsisten dan adil bagi seluruh umat Islam global.⁹ Karena bumi berbentuk bulat dan terus berotasi, selalu ada perbedaan waktu antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Untuk dapat menyatakan "satu tanggal yang sama di seluruh dunia," diperlukan sebuah titik referensi waktu global (dalam hal ini GMT/WU) dan sebuah mekanisme yang jelas mengenai bagaimana tanggal tersebut dimulai dan berakhir secara global. Konsep hari universal yang membentang selama 48 jam adalah cara untuk membingkai satu siklus tanggal kalender yang dapat mencakup semua zona waktu di planet ini. Penetapan batas waktu *ijtimak* (yaitu sebelum pukul 00:00 GMT)⁹ berfungsi sebagai semacam "pemicu" global yang menandakan kapan proses penentuan awal bulan baru dimulai untuk hari berikutnya secara serempak di seluruh dunia.

6.3 Latar Belakang Sejarah dan Upaya Internasional Menuju KHGT

Gagasan mengenai sebuah kalender Islam yang berlaku secara global bukanlah sebuah ide yang baru muncul. Jauh sebelum diskursus kontemporer mengenai KHGT mengemuka, para pemikir dan ulama Muslim telah merenungkan perlunya sistem penanggalan yang dapat menyatukan umat. Tokoh seperti Ahmad Muhammad Syakir, seorang ahli hadis terkemuka, pada tahun 1939 telah mengemukakan bahwa permulaan bulan kamariah seharusnya tidak berbeda karena perbedaan letak geografis, meskipun waktu terbenamnya bulan dapat bervariasi.²⁴

Jamaluddin 'Abd al-Razik juga tercatat sebagai salah satu figur penting dalam sejarah

awal pengembangan KHGT. Ia memperkenalkan konsep "hari universal" dan merumuskan kaidah hisab yang didasarkan pada waktu terjadinya konjungsi bulan-matahari secara global.²¹ Pemikiran 'Abd al-Razik ini kemudian menjadi salah satu rujukan penting bagi pengembangan KHGT di masa-masa berikutnya, termasuk oleh tokoh-tokoh seperti Syamsul Anwar dari Muhammadiyah.²⁵ Selain itu, kontribusi Mohammad Ilyas melalui *International Islamic Calendar Programme* (IICP) juga signifikan dalam memperkaya diskursus kalender Islam internasional. Ilyas dikenal dengan gagasannya mengenai Garis Tanggal Kamariah Internasional (GTKI) dan pengembangan metode hisab *imkanur rukyat* yang berorientasi global.²¹

Evolusi pemikiran menuju KHGT diwarnai oleh serangkaian pertemuan dan konferensi internasional yang bertujuan untuk menjembatani perbedaan dan mencari titik temu. Sejak pertemuan di Kuwait pada tahun 1973, berbagai forum telah diselenggarakan, dengan Konferensi Istanbul pada tahun 1978 dan 2016 menjadi tonggak penting dalam perjalanan ini.¹⁴

Konferensi Internasional Unifikasi Kalender Hijriah yang diselenggarakan di Istanbul pada tanggal 28-30 Mei 2016, atas prakarsa Kepresidenan Urusan Agama Turki (Diyanet) bekerja sama dengan berbagai lembaga internasional lainnya, menjadi momen krusial.¹⁶ Konferensi ini dihadiri oleh para ulama, ahli falak, dan perwakilan dari berbagai negara serta organisasi Islam internasional.²² Keputusan paling fundamental yang dihasilkan adalah kesepakatan untuk mengadopsi **Kalender Hijriah Global Tunggal** (Mono Calendar) melalui mekanisme pemungutan suara, yang sekaligus menolak proposal kalender bizonal.¹⁶ Kriteria astronomis yang disepakati dalam konferensi ini adalah bahwa awal bulan baru dimulai jika sebelum pukul 00:00 GMT/WU (Waktu Universal), di mana pun di muka bumi, telah terpenuhi dua syarat: pertama, elongasi (jarak sudut) antara bulan dan matahari saat matahari terbenam mencapai minimal 8 derajat ($\geq 8^\circ$), dan kedua, ketinggian hilal di atas ufuk saat matahari terbenam mencapai minimal 5 derajat ($\geq 5^\circ$).¹⁰ Konferensi ini juga menetapkan ketentuan koreksi apabila kriteria tersebut baru terpenuhi setelah pukul 00:00 GMT, dengan mempertimbangkan visibilitas hilal di benua Amerika atau terjadinya ijtimaq sebelum fajar di Selandia Baru.¹⁰ Penting untuk dicatat bahwa Konferensi Istanbul 2016 menekankan penggunaan metode hisab yang didasarkan pada kemungkinan rukyat (*imkanur rukyat*) secara global, sebuah pendekatan yang berbeda dengan Kongres Istanbul 1978 yang masih memberikan penekanan lebih besar pada rukyat fisik.¹⁶

Sebagai respons dan upaya tindak lanjut dari hasil Kongres Istanbul 2016, khususnya dalam konteks Indonesia dan kawasan Asia Tenggara, muncullah Rekomendasi Jakarta

pada tahun 2017.³⁰ Rekomendasi ini mengusulkan kriteria yang mungkin memiliki sedikit perbedaan atau merupakan adaptasi dari kriteria Istanbul untuk kondisi lokal atau regional, namun tetap dalam kerangka semangat untuk mewujudkan kalender Islam tunggal.³¹ Salah satu poin yang dihasilkan adalah rekomendasi untuk menjadikan Lembaga Pengkajian dan Pengembangan Astronomi Rukyatul Hilal Indonesia (LP2IF RHI) sebagai rujukan untuk Kalender Hijriah Global Tunggal.³⁰

Peran lembaga-lembaga Islam internasional dalam upaya unifikasi kalender Hijriah juga patut dicatat. Organisasi Kerjasama Islam (OKI/OIC) telah lama terlibat dalam berbagai forum dan diskusi mengenai penyatuan kalender. Meskipun demikian, progres yang dicapai oleh OKI dinilai relatif lambat dan seringkali terhambat oleh perbedaan pandangan di antara negara-negara anggotanya.¹⁴ Resolusi-resolusi OKI yang dikeluarkan pasca-2016 lebih banyak berfokus pada isu-isu dialog antarbudaya dan belum secara spesifik mengadopsi satu model KHGT yang definitif seperti yang dihasilkan Konferensi Istanbul.³⁷ Sementara itu, Rabithah Alam Islami (Muslim World League) turut berkontribusi dalam mempromosikan dialog global dan mendukung berbagai inisiatif yang mengarah pada persatuan umat, termasuk dalam aspek penanggalan, meskipun tidak secara eksplisit merilis model kalender tunggal sendiri.¹¹ Di sisi lain, *Islamic Crescents' Observation Project* (ICOP) memainkan peran yang sangat krusial dalam mengumpulkan, memverifikasi, dan menyebarluaskan data observasi rukyatul hilal dari seluruh penjuru dunia. Basis data observasional yang disediakan oleh ICOP menjadi sumber daya yang tak ternilai bagi para peneliti dan praktisi falak dalam menguji dan mengembangkan kriteria visibilitas hilal yang valid secara global.⁴²

Evolusi menuju KHGT ini sejatinya menandakan sebuah pergeseran paradigmatik yang signifikan, yaitu dari ketergantungan historis pada metode rukyat lokal atau regional menuju sebuah sistem penanggalan global yang berbasis pada hisab astronomis yang dikawal oleh prinsip *imkanur rukyat*. Pergeseran ini tidak hanya mencerminkan adaptasi terhadap kemajuan pesat dalam ilmu pengetahuan astronomi, tetapi juga merupakan respons terhadap tuntutan era globalisasi yang meniscayakan keteraturan dan kesatuan. Sejarah panjang gagasan KHGT, yang dimulai dari pemikiran para perintis²¹ hingga berbagai konferensi internasional¹⁴, menunjukkan sebuah upaya kolektif yang berkelanjutan. Puncaknya, Konferensi Istanbul 2016¹⁶ secara tegas memilih model kalender tunggal yang berbasis hisab dengan kriteria *imkanur rukyat* global, sebuah langkah berani yang menandai upaya untuk melepaskan diri dari ketergantungan pada rukyat fisik lokal sebagai penentu utama awal bulan kamariah.

Meskipun demikian, penting untuk dicatat bahwa kesepakatan yang dicapai di tingkat pakar, seperti yang terjadi di Istanbul pada tahun 2016, tidak serta-merta menjamin implementasi universal KHGT. Proses adopsi dan implementasi di lapangan menghadapi tantangan besar, terutama dalam hal penerimaan oleh otoritas keagamaan resmi di berbagai negara dan organisasi-organisasi massa Islam yang telah memiliki tradisi dan metode penentuan kalender sendiri. OKI, sebagai organisasi antar-pemerintah negara-negara Muslim, hingga kini belum secara definitif mengadopsi satu model KHGT tertentu.³⁷ Munculnya Rekomendasi Jakarta 2017³⁰ juga mengindikasikan adanya upaya adaptasi atau bahkan formulasi alternatif di tingkat regional. Kompleksitas ini tercermin, misalnya, dalam perbedaan antara kriteria MABIMS yang berlaku regional di Asia Tenggara dengan kriteria KHGT yang diusulkan di Turki untuk skala global.³⁰

Peran Diyanet Turki dalam menyelenggarakan dan mendorong hasil Konferensi Istanbul 2016 menunjukkan betapa sentralnya inisiatif dari lembaga keagamaan negara yang memiliki otoritas dan sumber daya yang kuat dalam menggerakkan agenda unifikasi global.²³ Keberhasilan atau kegagalan implementasi KHGT di masa mendatang tampaknya akan sangat bergantung pada sejauh mana lembaga-lembaga serupa di negara-negara Muslim kunci lainnya bersedia untuk mengambil peran proaktif dan mendukung upaya unifikasi ini.

6.4 Adopsi Kalender Hijriah Global Tunggal oleh Muhammadiyah

Keputusan Muhammadiyah untuk mengadopsi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) merupakan sebuah langkah signifikan yang didasari oleh pertimbangan strategis dan amanat organisasi. Mukhtar Muhammadiyah ke-47 di Makassar pada tahun 2015 dan Mukhtar ke-48 di Surakarta pada tahun 2022 secara konsisten mengamanatkan adanya upaya serius untuk mewujudkan penyatuan kalender Hijriah yang berlaku secara internasional atau global.¹ Dorongan ini muncul dari keinginan luhur untuk memberikan solusi konkret atas problematika perbedaan penentuan awal bulan kamariah yang kerap terjadi dan berulang setiap tahunnya. Perbedaan ini tidak hanya terjadi di tingkat nasional Indonesia, tetapi juga di panggung global, dan seringkali berdampak pada keserentakan pelaksanaan ibadah umat Islam, yang pada akhirnya dapat mengganggu kemaslahatan dan persatuan umat.¹ Dalam pandangan Muhammadiyah, KHGT menawarkan sebuah sistem yang lebih mampu mewujudkan kepastian, prediktabilitas, dan yang terpenting, kesatuan global, jika dibandingkan dengan metode-metode penentuan kalender yang telah digunakan sebelumnya.⁵

Peralihan menuju KHGT menandai sebuah evolusi penting dalam metodologi

penentuan kalender yang dianut oleh Muhammadiyah. Selama bertahun-tahun, organisasi Islam modernis ini dikenal konsisten menggunakan metode hisab hakiki dengan kriteria *Wujudul Hilal*.⁴⁷ Kriteria *Wujudul Hilal* menetapkan bahwa awal bulan baru dimulai apabila pada saat matahari terbenam setelah terjadinya ijtima (konjungsi), bulan (hilal) secara astronomis sudah berada di atas ufuk, tanpa memandang berapapun ketinggiannya selama bernilai positif. Meskipun Muhammadiyah memandang kriteria *Wujudul Hilal* sebagai metode yang kuat dan absah baik dari sisi argumen syar'i maupun sains, lingkup keberlakuannya masih terbatas pada skala lokal atau nasional, yang dalam terminologi fikih dikenal dengan konsep *wilayatul hukmi*.¹⁹ Adopsi KHGT oleh Muhammadiyah merupakan sebuah langkah strategis yang didorong oleh keinginan untuk beralih dari wawasan lokal/nasional menuju wawasan global dengan mengadopsi prinsip *ittihadul matali*, serta untuk mengakomodasi kebutuhan unifikasi penanggalan Islam yang lebih luas dan mendesak di era globalisasi ini.¹⁹

Keputusan untuk mengadopsi KHGT ini tidak diambil secara gegabah, melainkan melalui kajian mendalam yang dilakukan oleh Majelis Tarjih dan Tajdid Pimpinan Pusat Muhammadiyah, dengan mempertimbangkan berbagai aspek, terutama argumen syar'i (*fiqh*) dan prinsip kemaslahatan (*maqasid syariah*). Beberapa landasan argumen yang dikemukakan meliputi:

1. Penekanan pada ajaran Islam yang bersifat universal (rahmatan lil 'alamin), sebagaimana tersirat dalam QS. Saba : 28, dan spirit kesatuan umat Islam (*ummatan wahidatan*) sebagaimana termaktub dalam QS. Al-Anbiya : 92.¹⁵
2. Pemahaman bahwa fungsi hilal sebagai *mawaqit linnas wal hajj* (penanda waktu bagi manusia dan untuk pelaksanaan ibadah haji), sebagaimana disebutkan dalam QS. Al-Baqarah : 189, bersifat universal dan tidak terbatas pada lokalitas tertentu.¹⁵
3. Interpretasi terhadap hadis Nabi Muhammad SAW mengenai kesatuan dalam pelaksanaan puasa dan hari raya ("الصَّوْمُ يَوْمَ تَصُومُونَ وَالْفِطْرُ يَوْمَ تُفْطِرُونَ وَالْأَضْحَى يَوْمَ تُضْحُونَ") sebagai landasan normatif akan perlunya keseragaman waktu ibadah secara global.¹⁵
4. Pandangan bahwa rukyat (pengamatan hilal secara fisik) merupakan *wasilah* (sarana) yang bersifat *mu'allalah* (memiliki sebab atau 'illah tertentu, yaitu kondisi *ummiyah* atau keterbatasan ilmu pengetahuan umat pada masa Nabi). Konsekuensinya, apabila ditemukan sarana lain yang lebih akurat, lebih pasti, dan lebih mampu menyatukan umat secara global (dalam hal ini hisab global), maka penggunaan sarana tersebut menjadi lebih utama dan sejalan dengan semangat ajaran Islam.¹⁰

5. Pertimbangan *maslahah 'ammah* (kemaslahatan umum) yang lebih besar, yaitu untuk menyatukan umat Islam dan menghindari perselisihan yang berkepanjangan terkait penentuan awal bulan kamariah.¹⁹
6. Pemosisian adopsi KHGT sebagai sebuah bentuk ijtihad (upaya sungguh-sungguh untuk menggali hukum dari sumbernya) dan tajdid (pembaharuan) dalam merespons tantangan dan kebutuhan zaman kontemporer.¹¹

Proses dan tahapan implementasi KHGT dalam sistem penanggalan Muhammadiyah dirancang secara cermat. Ini diawali dengan pengkajian yang intensif dan komprehensif terhadap Kriteria Turki 2016 beserta prinsip-prinsip dasar KHGT yang dilakukan oleh Majelis Tarjih dan Tajdid.¹ Hasilnya, Muhammadiyah memutuskan untuk mengadopsi KHGT, yang pada awalnya direncanakan akan berlaku secara penuh mulai awal bulan Muharam 1447 H (yang bertepatan dengan sekitar bulan Juli 2025 M).⁵

Langkah selanjutnya adalah melakukan sosialisasi dan edukasi secara masif kepada seluruh warga Muhammadiyah khususnya, dan masyarakat Islam Indonesia pada umumnya, mengenai konsep, urgensi, dan mekanisme KHGT.⁷ Sebagai bagian dari proses transisi ini, Muhammadiyah telah menerbitkan Kalender KHGT untuk tahun 1446 H. Meskipun demikian, untuk penetapan hari-hari besar keagamaan pada tahun 1446 H (seperti awal Ramadan, Syawal, dan Zulhijah), Muhammadiyah masih akan menggunakan kriteria *Wujudul Hilal*. Keputusan ini diambil dengan pertimbangan untuk menjaga keselarasan dan kebersamaan dengan pemerintah dan organisasi Islam lainnya di Indonesia yang belum mengadopsi KHGT, sekaligus memberikan waktu yang cukup untuk proses adaptasi dan penerimaan KHGT secara lebih luas.¹⁹

Adopsi KHGT oleh Muhammadiyah ini lebih dari sekadar perubahan teknis dalam kriteria penanggalan. Ia mencerminkan sebuah transformasi filosofis yang mendasar, yaitu pergeseran dari pendekatan kalender yang berorientasi nasional atau *wilayatul hukmi* menuju sebuah pendekatan yang berorientasi internasional atau *ittihadul matali*'. Muhammadiyah, yang selama ini dikenal luas dengan konsistensinya dalam menggunakan kriteria *Wujudul Hilal* untuk lingkup Indonesia⁵⁰, kini mengambil langkah maju dengan visi yang lebih luas. Peralihan ke KHGT¹, yang secara fundamental berprinsip pada *ittihadul matali*'⁹, menunjukkan sebuah perubahan cara pandang yang fundamental mengenai keberlakuan kalender Islam. Fokusnya tidak lagi terbatas pada "bagaimana Muhammadiyah di Indonesia menentukan awal bulan," melainkan berkembang menjadi "bagaimana Muhammadiyah dapat berkontribusi aktif dalam pembentukan sistem waktu global yang dapat diterima dan digunakan oleh seluruh umat Islam di dunia." Langkah ini sejalan dengan semangat program "Risalah Islam

Berkemajuan" yang diusung oleh Muhammadiyah, yang menekankan peran aktif organisasi dalam percaturan global dan kontribusinya bagi kemajuan peradaban Islam.¹³

Keputusan Muhammadiyah untuk menunda implementasi penuh KHGT dan tetap menggunakan kriteria *Wujudul Hilal* untuk penetapan hari-hari besar keagamaan pada tahun 1446 H¹⁹ menunjukkan sebuah pendekatan yang pragmatis dan penuh pertimbangan terhadap prinsip *maslahah* (kemaslahatan). Meskipun komitmen terhadap tujuan jangka panjang untuk unifikasi global melalui KHGT tetap kuat⁵, Muhammadiyah menyadari bahwa perubahan sebesar ini memerlukan proses transisi dan sosialisasi yang matang. Keputusan ini kemungkinan besar diambil untuk menghindari potensi kebingungan atau bahkan perpecahan yang lebih besar di tingkat nasional, seandainya Muhammadiyah secara tiba-tiba menerapkan kalender yang berbeda dengan pemerintah dan organisasi Islam lainnya yang belum mengadopsi KHGT. Ini dapat dilihat sebagai sebuah strategi "pendaratan lunak" (*soft-landing*) untuk sebuah perubahan paradigmatis yang signifikan, yang memberikan ruang bagi adaptasi dan penerimaan yang lebih luas di masa mendatang.

Argumentasi syar'i yang dikemukakan oleh Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah dalam mendukung KHGT menunjukkan sebuah upaya ijtihad yang signifikan. Penekanan kuat diberikan pada interpretasi ayat-ayat Al-Qur'an dan hadis-hadis Nabi yang mendukung gagasan universalisme Islam dan kesatuan umat.¹⁵ Ayat-ayat seperti QS. Al-Anbiya : 92 tentang kesatuan umat, QS. Saba : 28 tentang universalisme risalah Islam, QS. Al-Baqarah : 189 tentang fungsi hilal sebagai penanda waktu bagi seluruh manusia, serta hadis "الْصَّوْمُ يَوْمَ تَصُومُونَ" yang menyerukan kesatuan dalam berpuasa dan berhari raya, semuanya ditafsirkan dalam konteks global dan kesatuan. Lebih lanjut, pemahaman terhadap rukyat sebagai sebuah *wasilah* (sarana) yang bersifat *mu'allalah* (memiliki alasan atau 'illah tertentu, yaitu kondisi *ummiyah* umat pada masa itu)¹⁰ menjadi kunci epistemologis yang membuka pintu bagi penerimaan hisab sebagai alternatif yang lebih unggul dan relevan di masa kini, terutama ketika hisab tersebut mampu menghasilkan kepastian dan mendukung persatuan global. Ini menunjukkan adanya dinamika pemikiran hukum Islam yang responsif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan perubahan kondisi sosial masyarakat Muslim kontemporer.

6.5 Analisis Komparatif KHGT dengan Sistem Kalender Hijriah Lainnya

Untuk memahami secara komprehensif posisi dan signifikansi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), penting untuk melakukan analisis perbandingan dengan sistem-

sistem penentuan kalender Hijriah lain yang dikenal dan diterapkan, baik di tingkat nasional, regional, maupun internasional.

6.5.1 KHGT vs. Kriteria *Wujudul Hilal* (Metode Muhammadiyah sebelum adopsi KHGT secara penuh):

- **Persamaan Fundamental:** Kedua sistem ini sama-sama berlandaskan pada metode hisab hakiki, yaitu perhitungan astronomis yang akurat mengenai posisi bulan dan matahari.¹⁹ Keduanya menolak ketergantungan pada rukyat fisik semata sebagai penentu utama awal bulan.
- **Perbedaan Utama:**
 - **Konsep Matlak:** Perbedaan paling mendasar terletak pada konsep matlak. KHGT menganut prinsip *Ittihadul Mathali'* (kesatuan matlak global), yang berarti jika kriteria terpenuhi di satu bagian bumi, maka awal bulan berlaku untuk seluruh dunia.¹⁹ Sebaliknya, *Wujudul Hilal* yang diterapkan Muhammadiyah sebelumnya berpegang pada konsep *wilayatul hukmi*, di mana penetapan awal bulan berlaku dalam batas wilayah hukum tertentu, dalam hal ini Indonesia.¹⁹
 - **Kriteria Visibilitas (Astronomis):** KHGT, merujuk pada Kriteria Istanbul 2016, menetapkan syarat elongasi bulan-matahari minimal 8 derajat ($\geq 8^\circ$) dan ketinggian hilal minimal 5 derajat ($\geq 5^\circ$) di atas ufuk saat matahari terbenam, yang harus terpenuhi di salah satu belahan bumi sebelum pukul 00:00 GMT.²⁹ Sementara itu, kriteria *Wujudul Hilal* hanya mensyaratkan bahwa hilal sudah wujud (berada pada ketinggian positif, $> 0^\circ$) di atas ufuk pada saat matahari terbenam setelah terjadinya ijtimaq, tanpa ada batasan minimal spesifik untuk tinggi dan elongasi selain dari nilai positif tersebut.⁴⁷
 - **Implikasi Praktis:** Karena kriteria visibilitas KHGT yang lebih ketat, sistem ini berpotensi menghasilkan penetapan awal bulan yang berbeda, dan seringkali lebih lambat satu hari, dibandingkan dengan jika menggunakan kriteria *Wujudul Hilal*.

6.5.2 KHGT vs. Kriteria *Imkanur Rukyat* MABIMS (Digunakan oleh Indonesia, Malaysia, Brunei Darussalam, dan Singapura):

- **Persamaan Konseptual:** Kedua sistem ini sama-sama berupaya mengintegrasikan metode hisab dengan konsep kemungkinan terlihatnya hilal (*imkanur rukyat*). Artinya, awal bulan tidak hanya ditentukan oleh posisi geometris bulan, tetapi juga oleh potensinya untuk dapat diobservasi.

- **Perbedaan Utama:**

- **Cakupan Matlak:** KHGT bersifat global, sedangkan kriteria MABIMS berlaku secara regional untuk negara-negara anggota MABIMS di Asia Tenggara.¹⁷
- **Parameter Kriteria Visibilitas:** KHGT menggunakan parameter elongasi $\geq 8^\circ$ dan tinggi hilal $\geq 5^\circ$. Kriteria MABIMS terbaru (Neo MABIMS) yang disepakati dan mulai diterapkan menetapkan syarat elongasi minimal 6,4 derajat ($\geq 6,4^\circ$) dan tinggi hilal minimal 3 derajat ($\geq 3^\circ$).¹⁶ Sebelumnya, kriteria MABIMS lama adalah tinggi hilal $\geq 2^\circ$, elongasi $\geq 3^\circ$, atau umur bulan ≥ 8 jam setelah ijtimak.¹⁶
- **Implikasi Praktis:** Dengan parameter kriteria yang lebih tinggi, KHGT berpotensi menyebabkan perbedaan dalam penetapan awal bulan dengan negara-negara anggota MABIMS, kecuali jika negara-negara tersebut di masa depan juga mengadopsi KHGT atau kriteria yang setara.

6.5.3 KHGT vs. Metode Rukyatul Hilal Murni (Misalnya, pandangan yang dianut sebagian kalangan Nahdlatul Ulama):

- **Perbedaan Fundamental dalam Metodologi:** KHGT adalah sistem yang berbasis hisab dengan syarat *imkanur rukyat* yang berlaku secara global. Sebaliknya, metode rukyatul hilal murni menjadikan pengamatan visual langsung terhadap hilal di tingkat lokal atau nasional sebagai penentu utama dan satu-satunya yang sah untuk memulai bulan baru.²⁰
- **Aspek Prediktabilitas:** KHGT menawarkan tingkat prediktabilitas yang sangat tinggi, memungkinkan penyusunan kalender untuk jangka waktu yang jauh ke depan. Metode rukyat murni baru dapat memberikan kepastian setelah dilakukannya observasi pada sore hari tanggal 29 bulan berjalan.⁵¹
- **Objektivitas vs. Subjektivitas Potensial:** Hisab yang mendasari KHGT menawarkan objektivitas berdasarkan data dan perhitungan astronomis. Sementara itu, hasil rukyat fisik dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor subjektif dari pengamat (seperti pengalaman dan ketajaman visual) serta kondisi atmosfer lokal yang dinamis pada saat pengamatan.⁷⁷

6.5.4 KHGT vs. Kalender Ummul Qura (Arab Saudi):

- **Kriteria Kalender Ummul Qura (Versi Terbaru):** Secara umum, Kalender Ummul Qura yang digunakan untuk keperluan sipil di Arab Saudi didasarkan pada prinsip *wujudul hilal* di Mekkah. Artinya, awal bulan baru dimulai jika ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam di Mekkah, dan pada saat matahari terbenam di Mekkah tersebut, bulan terbenam setelah matahari.²¹

Untuk penentuan resmi bulan-bulan ibadah, otoritas keagamaan Arab Saudi tetap melakukan rukyat.

- **Perbedaan Konsep Matlak:** KHGT menganut matlak global, sedangkan Kalender Ummul Qura secara praktis berpusat di Mekkah sebagai referensi utama.²¹
- **Potensi Perbedaan Tanggal:** Sangat mungkin terjadi perbedaan dalam penetapan awal bulan antara KHGT dan Kalender Ummul Qura. Hal ini terutama dapat terjadi jika kriteria *imkanur rukyat* global menurut KHGT terpenuhi di wilayah barat (misalnya, benua Amerika) sebelum kriteria Ummul Qura terpenuhi di Mekkah, atau sebaliknya. Perbedaan ini memiliki implikasi signifikan, khususnya terkait keseragaman pelaksanaan ibadah haji dan puasa Arafah secara global.³²

6.5.5 KHGT vs. Kalender Turki (Contoh: Kalender Fazilet):

- Kalender Fazilet, yang merujuk pada kriteria Turki, diketahui menggunakan parameter elongasi $\geq 8^\circ$ dan tinggi hilal $\geq 5^\circ$, yang serupa dengan kriteria KHGT hasil Konferensi Istanbul 2016.¹⁷ Keduanya juga sama-sama menganut prinsip *Ittihadul Mathali'*.
- Meskipun demikian, perbedaan masih mungkin muncul jika terdapat interpretasi yang berbeda dalam penerapan konsep "terpenuhinya syarat di bagian manapun di muka bumi" atau dalam implementasi ketentuan koreksi yang berkaitan dengan batas waktu GMT.¹⁸

Tabel 6.1 Tabel perbandingan ringkas beberapa kriteria utama:

Fitur Kunci	KHGT (Istanbul 2016)	Wujudul Hilal (Muhammadiyah Pra-KHGT)	Imkanur Rukyat MABIMS (Neo)
Metode Dasar	Hisab Global + <i>Imkanur Rukyat</i> Global	Hisab Lokal/Nasional	Hisab Regional + <i>Imkanur Rukyat</i> Regional
Konsep Matlak	<i>Ittihadul Mathali'</i> (Global)	<i>Wilayatul Hukmi</i> (Lokal/Nasional)	Regional (Asia Tenggara)

Kriteria ijtimak	Sebelum 00:00 GMT (dengan ketentuan koreksi)	Sebelum matahari terbenam lokal	Sebelum matahari terbenam lokal
Kriteria Elongasi	$\geq 8^\circ$ (global)	Tidak ada batas minimal spesifik (hanya positif)	$\geq 6,4^\circ$ (regional)
Kriteria Tinggi Hilal	$\geq 5^\circ$ (global)	$> 0^\circ$ (positif di atas ufuk lokal)	$\geq 3^\circ$ (regional)
Penentu Awal Bulan	Terpenuhinya kriteria hisab <i>imkanur rukyat</i> global	Terpenuhinya syarat hisab <i>wujudul hilal</i> secara lokal	Terpenuhinya kriteria hisab <i>imkanur rukyat</i> regional, dikonfirmasi Sidang Isbat (di Indonesia)

Penyertaan tabel perbandingan ini dianggap sangat berharga karena beberapa alasan. Pertama, tabel ini **memudahkan pemahaman secara cepat** mengenai perbedaan-perbedaan kompleks antar sistem kalender dengan menyajikannya dalam format yang ringkas dan visual. Pembaca dapat dengan segera mengidentifikasi poin-poin divergensi utama. Kedua, tabel ini berfungsi sebagai **dasar untuk analisis lebih lanjut**, membantu memahami mengapa entitas seperti Muhammadiyah memutuskan untuk beralih ke KHGT, dengan menyoroti keterbatasan sistem-sistem sebelumnya dari perspektif kebutuhan global. Ketiga, tabel ini memberikan **konteks pada perdebatan yang sedang berlangsung** mengenai unifikasi kalender Islam dengan menunjukkan spektrum pendekatan yang ada. Keempat, tabel ini dapat menjadi **alat edukasi yang efektif** untuk menjelaskan kepada audiens yang lebih luas mengenai nuansa teknis dan filosofis di balik berbagai metode penentuan kalender Hijriah.

Secara keseluruhan, KHGT muncul sebagai sebuah upaya untuk mengatasi limitasi geografis dan temporal yang melekat pada sistem-sistem kalender yang ada, baik yang sepenuhnya berbasis rukyat murni maupun yang berbasis hisab dengan cakupan lokal atau regional. Sistem-sistem seperti *Wujudul Hilal* dan kriteria MABIMS, meskipun telah menggunakan hisab atau kombinasi hisab-rukya, masih terikat pada batasan-batasan geografis tertentu (nasional atau regional).¹⁷ Metode rukyat murni, di sisi lain, sangat dipengaruhi oleh kondisi lokal dan subjektivitas pengamat.⁵¹ KHGT, dengan prinsip

ittihadul mathali' dan kriteria visibilitas globalnya⁹, secara inheren dirancang untuk melampaui batasan-batasan tersebut dan menawarkan solusi yang lebih universal.

Perbandingan ini juga menyoroti adanya sebuah spektrum dalam pendekatan penentuan kalender Islam. Spektrum ini membentang dari metode yang sangat lokal dan observasional (seperti rukyat murni) hingga metode yang sepenuhnya global dan kalkulatif namun tetap dengan syarat visibilitas (seperti KHGT). Keberagaman pendekatan ini mencerminkan dinamika ijtihad dalam merespons kebutuhan zaman dan perkembangan ilmu pengetahuan. Setiap sistem, baik itu Rukyat, *Wujudul Hilal*, MABIMS, KHGT, maupun Kalender Ummul Qura, memiliki landasan argumen dan metodologinya masing-masing. Kemunculan KHGT dapat dilihat sebagai salah satu ijtihad terkini dalam spektrum ini, yang mencoba menawarkan solusi komprehensif untuk tantangan-tantangan modern terkait penanggalan Islam.

Namun demikian, potensi perbedaan dalam penentuan hari raya dengan Arab Saudi, yang menggunakan Kalender Ummul Qura, diperkirakan akan tetap ada meskipun KHGT diadopsi secara luas oleh sebagian komunitas Muslim. Hal ini disebabkan oleh perbedaan mendasar dalam kriteria dan konsep matlak yang digunakan.³² Kalender Ummul Qura, misalnya, cenderung berpusat pada kondisi di Mekkah²¹, sedangkan KHGT berprinsip global.⁹ Apabila, sebagai contoh, kriteria KHGT terpenuhi di wilayah Amerika lebih dahulu dibandingkan dengan terpenuhinya kriteria Kalender Ummul Qura di Mekkah, maka pengguna KHGT akan memulai bulan Zulhijah lebih awal. Kondisi ini dapat menyebabkan perbedaan dalam penetapan tanggal 9 Zulhijah (hari Arafah) versi KHGT dengan hari pelaksanaan wukuf yang sesungguhnya di Arafah. Isu ini merupakan salah satu tantangan utama yang sering diangkat dalam diskusi mengenai kalender Islam global dan memiliki implikasi signifikan terhadap keseragaman pelaksanaan ibadah haji dan puasa Arafah di seluruh dunia.⁵⁵

6.6 Manfaat, Keunggulan, dan Potensi Dampak Positif KHGT

Penerapan Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) menjanjikan serangkaian manfaat dan dampak positif yang signifikan bagi umat Islam di seluruh dunia. Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya untuk mewujudkan kesatuan global dalam pelaksanaan ibadah dan memberikan kepastian waktu yang selama ini sering menjadi sumber perbedaan.

Salah satu manfaat paling fundamental dari KHGT adalah **mewujudkan kesatuan global dalam ibadah**. Dengan sistem penanggalan yang tunggal dan berlaku seragam, umat Islam di berbagai belahan dunia akan dapat memulai dan mengakhiri ibadah

puasa Ramadan, serta merayakan Idulfitri dan Iduladha pada hari yang sama.¹ Lebih lanjut, KHGT berpotensi menyelesaikan masalah perbedaan dalam pelaksanaan puasa Arafah. Dengan memastikan keseragaman penetapan tanggal 9 Zulhijah secara global, diharapkan pelaksanaan puasa sunah ini dapat lebih selaras dengan waktu pelaksanaan wukuf di Arafah, yang merupakan puncak dari ibadah haji.⁵ Aspek persatuan (*ukhuwah*) dan penghilangan perselisihan ini seringkali menjadi penekanan utama, yang mengindikasikan bahwa dampak sosial-keagamaan dari KHGT dipandang lebih prioritas daripada sekadar pencapaian presisi teknis-astronomis semata. Berbagai sumber secara konsisten menyoroti "persatuan," "kebersamaan," dan "penghilangan perselisihan" sebagai tujuan inti, menunjukkan bahwa KHGT dilihat sebagai instrumen untuk mencapai tujuan sosial-keagamaan yang lebih besar dan fundamental bagi kohesi umat.¹

Manfaat signifikan lainnya adalah **kepastian, prediktabilitas, dan kemudahan perencanaan**. Karena KHGT berbasis pada metode hisab (perhitungan astronomis) yang akurat, sistem ini memungkinkan penyusunan kalender Hijriah untuk jangka waktu yang panjang dengan tingkat presisi yang tinggi.⁵ Hal ini akan memberikan kepastian tanggal yang sangat dibutuhkan untuk berbagai keperluan, baik yang bersifat ibadah maupun administratif sipil, bagi individu, komunitas, maupun negara. Kemampuan untuk merencanakan kegiatan jauh hari sebelumnya akan membawa efisiensi dan keteraturan dalam berbagai aspek kehidupan umat Islam.¹

KHGT juga dipandang sebagai sebuah sistem yang mampu **menjawab tantangan zaman modern**. Di era globalisasi saat ini, di mana arus informasi, mobilitas manusia, dan interaksi lintas negara berlangsung dengan intensitas yang sangat tinggi, keberadaan kalender yang terfragmentasi menjadi sebuah anakronisme.⁸ KHGT, dengan pendekatannya yang global dan terpadu, menunjukkan bahwa Islam mampu beradaptasi dengan kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang astronomi, dan teknologi informasi.

Lebih jauh, penerapan KHGT berpotensi besar untuk **memperkuat ukhuwah Islamiyah dan meningkatkan citra Islam di mata dunia**. Dengan mengurangi potensi perdebatan dan perpecahan internal umat Islam yang seringkali muncul akibat perbedaan dalam penentuan awal bulan⁴, KHGT dapat menampilkan citra Islam sebagai agama yang menjunjung tinggi keteraturan, kemajuan, dan mampu menghadirkan solusi atas persoalan-persoalan internal umatnya.³ Pada akhirnya, kalender yang tunggal dan diterima secara global dapat menjadi salah satu simbol persatuan dan identitas kolektif umat Islam di kancah internasional.¹

Keberhasilan KHGT dalam menyatukan pelaksanaan puasa Arafah secara global akan menjadi salah satu ujian penting bagi efektivitas dan penerimaannya di kalangan umat Islam. Mengingat sensitivitas ibadah haji dan keterkaitannya yang erat dengan waktu wukuf di Arafah ⁵, jika KHGT mampu menyelaraskan penetapan tanggal 9 Zulhijah di seluruh dunia dengan hari pelaksanaan wukuf yang ditetapkan oleh otoritas Arab Saudi, maka hal ini akan menjadi argumen yang sangat kuat bagi keunggulan dan relevansi KHGT. Namun, sebaliknya, jika perbedaan tetap terjadi karena Arab Saudi (dengan Kalender Ummul Qura-nya) tidak turut serta mengadopsi KHGT, maka salah satu manfaat utama yang diharapkan dari KHGT, yaitu kesatuan dalam ibadah terkait haji, belum akan tercapai secara penuh.

Di luar aspek ibadah, KHGT juga berpotensi meningkatkan efisiensi dan koordinasi dalam berbagai aktivitas global umat Islam. Kepastian kalender ¹ tidak hanya berdampak pada perencanaan ibadah, tetapi juga pada urusan muamalah, pendidikan, sosial, dan ekonomi. Apabila seluruh institusi Islam di tingkat global, baik lembaga pendidikan, organisasi sosial, lembaga keuangan syariah, maupun badan-badan kemanusiaan, menggunakan sistem kalender yang sama, maka koordinasi untuk penyelenggaraan acara-acara internasional, pelaksanaan program-program pendidikan lintas negara, sinkronisasi transaksi keuangan berbasis syariah, dan bahkan penyaluran bantuan kemanusiaan dapat menjadi jauh lebih efektif, sinkron, dan efisien. Ini adalah salah satu implikasi jangka panjang dari penerapan KHGT yang mungkin belum banyak dieksplorasi namun memiliki signifikansi yang sangat besar bagi kemajuan umat Islam secara kolektif.

6.7 Tantangan Implementasi, Kritik, dan Prospek Masa Depan KHGT

Meskipun Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) menawarkan berbagai manfaat dan solusi atas problematika penanggalan Islam kontemporer, implementasinya dihadapkan pada serangkaian tantangan yang kompleks dan multidimensional. Tantangan-tantangan ini tidak hanya bersifat teknis-astronomis, tetapi juga melibatkan aspek sosio-kultural, teologis-fikih, dan politis.

Analisis Tantangan Implementasi:

1. **Tantangan Sosio-kultural:** Salah satu tantangan terbesar adalah mengubah kebiasaan dan tradisi masyarakat Muslim yang telah berlangsung lama dan mengakar kuat dalam berpegang pada metode rukyat lokal atau kalender nasional masing-masing sebagai acuan utama penentuan awal bulan.⁸ Di banyak komunitas, prosesi

rukyatul hilal memiliki nilai spiritual dan sosial tersendiri yang sulit tergantikan oleh sistem berbasis hisab semata, meskipun KHGT mengintegrasikan konsep *imkanur rukyat*.

2. **Tantangan Teologis (*Fiqh*):** Di ranah teologis, tantangan utama adalah meyakinkan kelompok-kelompok Muslim yang masih memegang teguh pandangan bahwa rukyat fisik (pengamatan hilal secara langsung dengan mata) adalah satu-satunya metode yang syar'i dan absah untuk memulai bulan kamariah, khususnya bulan-bulan ibadah. Perbedaan interpretasi terhadap dalil-dalil Al-Qur'an dan Hadis, terutama yang berkaitan dengan konsep *ittihadul mathali'* (kesatuan matlak global) versus *ikhtilaf al-mathali'* (perbedaan matlak lokal), menjadi sumber perdebatan yang belum sepenuhnya terselesaikan.⁹
3. **Tantangan Astronomis-Teknis:** Meskipun ilmu astronomi telah mencapai tingkat presisi yang tinggi, implementasi KHGT secara global tetap menghadirkan tantangan teknis. Ini mencakup kebutuhan untuk memastikan akurasi perhitungan hisab yang konsisten di seluruh dunia, pengelolaan dan verifikasi data visibilitas hilal dari berbagai observatorium di berbagai belahan bumi, serta penanganan yang cermat terhadap kasus-kasus batas (*borderline cases*), misalnya ketika momen ijtima' atau terpenuhinya kriteria *imkanur rukyat* terjadi sangat berdekatan dengan batas waktu patokan pukul 00:00 GMT.⁹
4. **Tantangan Politis:** Dukungan dan kesepakatan dari pemerintah negara-negara Muslim serta lembaga-lembaga keagamaan resmi yang memiliki otoritas dalam penetapan kalender menjadi faktor krusial yang menentukan keberhasilan implementasi KHGT.² Hingga saat ini, belum ada kemauan politik yang seragam dari negara-negara anggota Organisasi Kerjasama Islam (OKI) untuk mengadopsi satu sistem kalender tunggal. Masing-masing negara seringkali memiliki pertimbangan politis dan otoritas keagamaan domestik yang berbeda-beda.¹⁴

Diskusi Mengenai Kritik terhadap Konsep dan Kriteria KHGT:

Konsep dan kriteria KHGT, khususnya yang merujuk pada hasil Konferensi Istanbul 2016, tidak luput dari kritik dan perdebatan di kalangan para ahli. Beberapa poin kritik yang sering muncul antara lain:

1. Kelemahan dalam penerapan kondisi pelaporan rukyat hingga pukul 00:00 UT. Kritik ini menyoroti bahwa pergantian hari yang dipatok pada tengah malam GMT dapat menyebabkan wilayah-wilayah di bagian timur bumi harus menunggu lebih lama untuk memulai bulan baru. Selain itu, penetapan pergantian hari pada tengah malam dianggap tidak selaras dengan tradisi sebagian umat Islam yang memahami bahwa hari baru dimulai sejak waktu Maghrib [¹⁰ (implisit dalam prinsipnya), ³²].

2. Kekhawatiran bahwa KHGT, dengan penekanannya pada metode hisab, berpotensi mengabaikan atau mereduksi esensi spiritual dari ibadah rukyatul hilal yang telah dipraktikkan selama berabad-abad.⁵
3. Pertanyaan mengenai legitimasi syar'i dari konsep transfer *imkanur rukyat* secara global dan prinsip kesatuan matlak (*ittihadul mathali'*). Sebagian ulama dan mazhab fikih masih berpegang pada pandangan *ikhtilaf al-mathali'*, yang menganggap bahwa setiap wilayah memiliki matlaknya sendiri dan tidak terikat dengan rukyat di wilayah lain.⁹
4. Beberapa analisis juga menyebutkan bahwa kriteria yang diusulkan dalam Rekomendasi Jakarta 2017, meskipun berupaya mengakomodasi beberapa kelemahan dari model Turki 2016, dinilai memiliki cakupan batas visibilitas hilal yang terlalu sempit, yang mungkin kurang ideal untuk penerapan global.³²

Perlunya Kolaborasi Internasional Berkelanjutan:

Mengatasi berbagai tantangan dan kritik tersebut memerlukan upaya kolaborasi internasional yang berkelanjutan dan komprehensif. Dialog yang intensif dan konstruktif antara para ulama dari berbagai mazhab, pakar astronomi, serta perwakilan pemerintah dari berbagai negara Muslim menjadi sangat penting.² Peran aktif dari lembaga-lembaga Islam internasional seperti OKI, Rabithah Alam Islami (Muslim World League), ICOP, dan lembaga-lembaga serupa lainnya juga sangat dibutuhkan dalam memfasilitasi proses menuju konsensus, melakukan sosialisasi, dan membangun dukungan global untuk KHGT.⁸

Prospek dan Langkah Strategis Masa Depan:

Meskipun jalan menuju implementasi KHGT secara universal masih panjang dan penuh tantangan, prospeknya tetap terbuka. Beberapa langkah strategis yang dapat ditempuh untuk memajukan agenda KHGT di masa depan meliputi:

1. **Peningkatan Literasi dan Edukasi Publik:** Mengintensifkan program sosialisasi dan edukasi publik yang komprehensif mengenai konsep, dasar syar'i, manfaat, dan mekanisme operasional KHGT kepada seluruh lapisan masyarakat Muslim global. Upaya ini dapat dilakukan melalui berbagai platform media, seminar, lokakarya, dan kurikulum pendidikan.⁷
2. **Pengembangan Model KHGT yang Lebih Disempurnakan:** Terus melakukan kajian ilmiah, riset, dan pengembangan terhadap model dan kriteria KHGT berdasarkan data observasi hilal terkini dan kemajuan dalam ilmu astronomi. Penyempurnaan ini juga harus mengakomodasi berbagai pertimbangan teknis dan syar'i yang relevan untuk meningkatkan akseptabilitasnya.¹³
3. **Penguatan Jaringan Observasi Hilal Global:** Membangun dan memperkuat

jaringan observatorium hilal di berbagai belahan dunia untuk keperluan validasi data hisab, pengumpulan data rukyat yang akurat, dan mendukung penelitian berkelanjutan mengenai visibilitas hilal.²³

4. KHGT dipandang sebagai sebuah program prioritas dan agenda jangka panjang oleh organisasi-organisasi pendukungnya, seperti Muhammadiyah, yang menunjukkan adanya komitmen untuk terus mengawal dan memperjuangkan realisasinya.¹³

Secara mendasar, tantangan terbesar dalam implementasi KHGT tampaknya lebih bersifat non-teknis, yaitu terletak pada aspek penerimaan teologis-fikih dan adanya kemauan politik yang kuat dari negara-negara Muslim. Teknologi dan ilmu astronomi yang dibutuhkan untuk mendukung operasionalisasi KHGT pada dasarnya sudah cukup matang dan tersedia. Namun, mengubah paradigma berpikir yang telah mapan, menyatukan beragam interpretasi fikih, dan membangun konsensus politik di tingkat global merupakan rintangan utama yang harus diatasi. Kriteria astronomis KHGT telah dirumuskan²⁹, tetapi kritik dan hambatan yang paling sering mengemuka justru berkaitan dengan interpretasi dalil-dalil agama⁹, perbedaan pandangan mazhab mengenai konsep matlak²⁰, dan kurangnya dukungan politik yang solid dari negara-negara kunci.⁹ Ini menunjukkan bahwa solusi untuk unifikasi kalender Islam tidak hanya terletak pada ranah sains, tetapi juga memerlukan ijtihad fikih kontemporer yang progresif dan upaya diplomasi internasional yang gigih.

Adopsi KHGT oleh organisasi Islam besar seperti Muhammadiyah dapat dipandang sebagai sebuah "proyek percontohan" (*pilot project*) atau studi kasus penting yang akan diamati dengan saksama oleh dunia Islam.¹ Keberhasilan atau kegagalan Muhammadiyah dalam mengimplementasikan KHGT dalam skala organisasinya yang luas, bagaimana mereka mengatasi berbagai tantangan internal maupun eksternal, strategi sosialisasi yang diterapkan, serta dampak sosial yang ditimbulkannya, akan menjadi pelajaran berharga bagi negara-negara atau organisasi-organisasi Islam lainnya yang mungkin mempertimbangkan untuk mengadopsi KHGT di masa mendatang.¹

Prospek masa depan KHGT akan sangat bergantung pada kemampuannya untuk secara nyata menunjukkan manfaat yang lebih besar, terutama dalam hal mewujudkan persatuan umat dan memberikan kepastian waktu, dibandingkan dengan mempertahankan status quo dengan sistem kalender yang terfragmentasi. Manfaat-manfaat ini harus benar-benar dirasakan oleh umat Islam secara luas agar mampu mengatasi resistensi terhadap perubahan yang mungkin muncul. Jika perbedaan

dalam penentuan hari-hari besar keagamaan tetap terjadi karena negara-negara kunci, seperti Arab Saudi, tidak turut serta dalam sistem KHGT, maka argumen mengenai persatuan global akan menjadi kurang meyakinkan. Oleh karena itu, upaya diplomasi, dialog, dan advokasi yang berkelanjutan ² menjadi sangat krusial untuk menunjukkan bahwa manfaat KHGT secara keseluruhan lebih dominan dan lebih maslahat daripada mempertahankan sistem kalender yang terpecah-belah.

6.8 Kesimpulan dan Rekomendasi

Sintesis Poin Kunci:

Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) merepresentasikan sebuah ikhtiar signifikan dalam sejarah pemikiran Islam kontemporer untuk menciptakan sistem penanggalan yang terpadu dan berlaku universal bagi seluruh umat Islam. Tujuan utamanya adalah untuk menyatukan umat dalam penentuan awal bulan kamariah, khususnya yang berkaitan dengan pelaksanaan ibadah, dengan berlandaskan pada prinsip ittihadul mathali' (kesatuan matlak global) dan metode hisab yang dikawal oleh kriteria imkanur rukyat global. Upaya-upaya internasional, yang berpuncak pada Konferensi Istanbul 2016, telah berhasil merumuskan sebuah model KHGT yang konkret dengan parameter astronomis yang jelas, yaitu elongasi bulan-matahari minimal 8 derajat dan ketinggian hilal minimal 5 derajat di atas ufuk, yang harus terpenuhi di salah satu bagian bumi sebelum pukul 00:00 GMT.

Dalam konteks Indonesia, organisasi Islam Muhammadiyah telah mengambil langkah strategis dengan memutuskan untuk mengadopsi KHGT. Keputusan ini didasarkan pada landasan argumen syar'i yang kuat dan pertimbangan kemaslahatan umat yang lebih luas, dengan visi untuk berkontribusi pada upaya unifikasi kalender Islam di tingkat global. Meskipun KHGT menawarkan manfaat besar dalam hal mewujudkan persatuan, memberikan kepastian waktu, dan menjawab tantangan zaman modern, implementasinya dihadapkan pada tantangan yang tidak ringan. Tantangan-tantangan tersebut mencakup aspek teologis-fikih, sosio-kultural, teknis-astronomis, dan yang tidak kalah penting, aspek politis yang melibatkan komitmen dari negara-negara Muslim dan lembaga-lembaga keagamaan internasional.

Keberhasilan KHGT di masa depan tidak hanya bergantung pada kesepakatan mengenai kriteria astronomis yang digunakan, tetapi juga pada kemampuan untuk membangun narasi keagamaan dan peradaban yang meyakinkan mengenai urgensi dan signifikansi persatuan waktu bagi umat Islam di seluruh dunia. Argumen-argumen syar'i dan pertimbangan kemaslahatan ⁹ harus terus dikedepankan dan disosialisasikan secara luas. KHGT perlu diposisikan bukan hanya sebagai sebuah inovasi teknis dalam

bidang astronomi, melainkan sebagai sebuah ijtihad peradaban yang komprehensif, yang menjawab kebutuhan fundamental umat Islam akan kesatuan, identitas, dan keteraturan dalam panggung peradaban global.

Rekomendasi Strategis:

Untuk mendukung keberhasilan implementasi dan penerimaan KHGT secara lebih luas, beberapa langkah strategis perlu dipertimbangkan dan diimplementasikan secara berkelanjutan:

1. **Diseminasi dan Edukasi Publik yang Komprehensif:** Mengintensifkan program sosialisasi dan edukasi yang terstruktur dan masif mengenai konsep dasar, landasan syar'i, manfaat praktis, dan mekanisme operasional KHGT. Upaya ini harus menjangkau seluruh lapisan masyarakat Muslim global, dengan memanfaatkan berbagai platform media, forum ilmiah, lembaga pendidikan, dan jaringan dakwah.⁷ Peran generasi muda Muslim, yang umumnya lebih terkoneksi secara global dan potensial lebih terbuka terhadap ide-ide unifikasi yang melampaui batas-batas tradisional, perlu dioptimalkan dalam proses sosialisasi dan advokasi ini.
2. **Penguatan Dialog dan Upaya Mencapai Konsensus Internasional:** Mendorong dan memfasilitasi dialog yang berkelanjutan, terbuka, dan konstruktif antara para ulama dari berbagai mazhab, pakar astronomi, perwakilan pemerintah negara-negara Muslim, dan pimpinan organisasi-organisasi Islam internasional. Tujuannya adalah untuk membangun pemahaman bersama, menjembatani perbedaan pandangan, dan mencapai konsensus yang lebih luas mengenai urgensi dan model KHGT yang ideal.²
3. **Riset dan Pengembangan Lanjutan yang Berkelanjutan:** Terus melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan (*research and development*) terhadap model dan kriteria KHGT. Kajian ini harus didasarkan pada data observasi hilal global terkini, perkembangan mutakhir dalam ilmu astronomi dan teknologi pendukungnya, serta analisis yang mendalam terhadap implikasi fikih dan syar'i dari setiap aspek KHGT.⁹
4. **Penguatan Kelembagaan yang Otoritatif:** Mendorong pembentukan atau penguatan lembaga-lembaga yang memiliki otoritas dan kompetensi di tingkat nasional, regional, dan internasional. Lembaga-lembaga ini akan bertugas untuk mengelola, mengimplementasikan, memvalidasi, dan mensosialisasikan KHGT secara konsisten dan bertanggung jawab.
5. **Implementasi Bertahap dan Pendekatan Adaptif:** Mengingat kompleksitas tantangan yang ada, implementasi KHGT dapat dilakukan secara bertahap, dimulai dari negara-negara atau komunitas-komunitas Muslim yang telah menunjukkan

kesiapan dan komitmen. Proses implementasi ini harus disertai dengan mekanisme evaluasi yang berkelanjutan dan pendekatan yang adaptif untuk mengatasi berbagai kendala dan dinamika yang mungkin muncul di lapangan.

Untuk memastikan keberhasilan jangka panjang, diperlukan penyusunan sebuah "peta jalan" (*roadmap*) implementasi KHGT yang jelas, komprehensif, dan disepakati secara internasional. Peta jalan ini harus mencakup aspek-aspek teknis (seperti standarisasi metode hisab dan observasi), edukasi publik, harmonisasi legislasi (jika diperlukan di tingkat negara), serta mekanisme penyelesaian sengketa atau perbedaan interpretasi yang mungkin timbul di masa depan. Meskipun konferensi seperti Istanbul 2016¹⁶ dan inisiatif seperti Rekomendasi Jakarta 2017³⁰ merupakan langkah awal yang penting, implementasi KHGT yang berkelanjutan dan diterima secara global memerlukan perencanaan yang lebih detail, komitmen politik yang kuat, dan kolaborasi yang erat dari berbagai pihak terkait di seluruh dunia Islam.

Karya yang dikutip

1. Mengetahui Kalender Hijriah Global Tunggal yang Diterapkan ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20240709165943-20-1119303/mengetahui-kalender-hijriah-global-tunggal-yang-diterapkan-muhammadiyah>
2. Kalender Hijriah Global Tunggal: Jalan Solusi untuk Menyatukan ..., diakses Mei 10, 2025, <https://suaramuhammadiyah.id/read/kalender-hijriah-global-tunggal-jalan-solusi-untuk-menyatukan-umat-islam>
3. Kalender Hijriah Global Tunggal : Menghapus Batasan, Menyatukan Ibadah, diakses Mei 10, 2025, <https://umsb.ac.id/berita/index/1596-kalender-hijriah-global-tunggal-menghapus-batasan-menyatukan-ibadah>
4. Menyatukan Umat dengan Kalender Hijriah Global Tunggal - Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2024/07/menyatukan-umat-dengan-kalender-hijriah-global-tunggal/>
5. Muhammadiyah Akan Gunakan Kalender Hijriah Global Tunggal pada Tahun Depan, diakses Mei 10, 2025, <https://aktual.com/muhammadiyah-akan-gunakan-kalender-hijriah-global-tunggal-pada-tahun-depan/>
6. kalender hijriah global tunggal (khgt) - SMA Muhammadiyah 2 Yogyakarta, diakses Mei 10, 2025, <https://smamuhammadiyah2yk.sch.id/webnew/page/mimbar?id=266>
7. Tentang Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) - Suara Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://www.suaramuhammadiyah.id/read/tentang-kalender-hijriah-global-tunggal-khgt>
8. Challenges and Opportunities of the Global Hijri Calendar Adoption - Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025,

- <https://en.muhammadiyah.or.id/challenges-and-opportunities-of-the-global-hijri-calendar-adoption/>
9. tarjih.or.id, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/wp-content/uploads/2023/07/MAKALAH-KALENDER-HIJRIAH-GLOBAL-TANTANGAN-DAN-STRATEGI-IMPLEMENTASI Prof.-Dr.-Syamsul-Anwar-M.A..pdf>
 10. tarjih.or.id, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/wp-content/uploads/2020/09/Tindak-lanjut-Kalender-Global-Tunggal-asli-merah.pdf>
 11. Muhammadiyah Official Calls Unified Global Hijri Calendar a Bold and Modern Initiative, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/muhammadiyah-official-calls-unified-global-hijri-calendar-a-bold-and-modern-initiative/>
 12. From Worship to Humanitarianism: Unified Global Hijri Calendar for a Connected Ummah, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/from-worship-to-humanitarianism-unified-global-hijri-calendar-for-a-connected-ummah/>
 13. Muhammadiyah Bakal Gunakan Kalender Hijriah Global Tunggal Mulai Tahun Baru 1446 H, Apa Itu? - Liputan6.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.liputan6.com/islami/read/5627564/muhammadiyah-bakal-gunakan-kalender-hijriah-global-tunggal-mulai-tahun-baru-1446-h-apa-itu>
 14. jurnalbimasislam.kemenag.go.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/31/30/55>
 15. Dalil-dalil Syar'i Kalender Hijriah Global Tunggal | Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2025/04/dalil-dalil-syari-kalender-hijriah-global-tunggal/>
 16. Global Hijriah Calendar as Challenges Fikih Astronomy - Atlantis Press, diakses Mei 10, 2025, <https://www.atlantis-press.com/article/25891450.pdf>
 17. COMPARATIVE STUDY OF FAZILET CALENDAR AND MABIMS CRITERIA ON DETERMINING HIJRI CALENDAR - Rumah Jurnal UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/13760/4969>
 18. ELFALAKY: Jurnal Astronomi STUDI KOMPARASI KRITERIA AWAL BULAN KAMARIAH KALENDER FAZILET DAN KRITERIA MABIMS Irfan Astronomi - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/36469/17699>
 19. Diseminasi Kalender Hijriah Global Tunggal - Media Indonesia, diakses Mei 10, 2025, <https://mediaindonesia.com/opini/749003/diseminasi-kalender-hijriah-global-tunggal>
 20. journal.walisongo.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/download/8120/3964>
 21. jurnalbimasislam.kemenag.go.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/29/28/52>
 22. jurnalbimasislam.kemenag.go.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/33/32/59>
 23. The Conference for the unification of the International Hijri calendar - IUMS,

diakses Mei 10, 2025,

<https://www.iumsonline.org/en/ContentDetails.aspx?ID=5928>

24. Siapa Pelopor Kalender Islam Global Tunggal? Berikut Jawabannya ..., diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2023/07/siapa-pelopor-kalender-islam-global-tunggal-berikut-jawabannya/>
25. oif.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://oif.umsu.ac.id/wp-content/uploads/2020/08/5109-10415-1-PB.pdf>
26. Global Hijri Calendar - Moonsighting.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.com/globalcalendar.html>
27. Global Hijri Calendar - Moonsighting.com, diakses Mei 10, 2025, <https://moonsighting.com/globalcalendar.html>
28. ULUSLARARASI HİCRİ TAKVİM BİRLİĞİ KONGRESİ, diakses Mei 10, 2025, <https://hicritakvim.org/tr/haber-detay/uluslararasi-hicri-takvim-birligi-kongresi-1056>
29. Analisis Penentuan Awal Bulan Qomariyah Menurut Kriteria KHGT ..., diakses Mei 10, 2025, <https://pwmjateng.com/analisis-penentuan-awal-bulan-qomariyah-menurut-kriteria-khgt-tahun-2025/>
30. Implementation of the New MABIMS Crescent Visibility Criteria: Efforts to Unite the Hijriah Calendar in the Southeast Asian Reg - E-Journal UIN Jakarta, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uinjkt.ac.id/index.php/ahkam/article/viewFile/22275/10513>
31. Aplikasi Kriteria Kalender Islam Global Mukhtar Turki 2016 dan ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/view/1936>
32. The Global Islamic Calendar as a Solution for Unified Religious Rituals: Its Relevance to Fiqh and Astronomy | KULMINASI: Journal of Falak and Sharia, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.ar-raniry.ac.id/index.php/kulminasi/article/view/4086>
33. Optimist And Pessimist Moon-Sighting: The Study Of Islamic Calendar Determination In Indonesia - Jurnal UIN Antasari, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.uin-antasari.ac.id/index.php/muAsarah/article/download/7543/3326>
34. Tindak Lanjut Kalender Hijriah Global Turki 2016 "Tinjauan Usul ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.tarjih.or.id/index.php/tarjih/article/view/104/108>
35. The International Islamic Calendar Unification Effortsby Islamic Cooperation Organization (OKI) | Upaya Penyatuan Kalender Islam Internasional oleh Organisasi - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/32/31/57>
36. Upaya Penyatuan Kalender Islam Internasional oleh Organisasi Kerjasama Islam (OKI) | Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/view/32>
37. oic /cfm-43/2016/cs/res/final - Organisation of Islamic Cooperation, diakses Mei 10, 2025, https://www.oic-oci.org/subweb/cfm/43/en/docs/fin/43cfm_res_cs_en.pdf
38. oic/cfm-43/2016/org/res/final - Organisation of Islamic Cooperation, diakses Mei

- 10, 2025, https://www.oic-oci.org/subweb/cfm/43/en/docs/fin/43cfm_res_org_en.pdf
39. OIC/ICECS-42/2019/CS/FINAL Original: English RESOLUTIONS ON CULTURAL, SOCIAL AND FAMILY AFFAIRS ADOPTED BY THE 46TH SESSION OF THE Organisation of Islamic Cooperation, diakses Mei 10, 2025, <https://www.oic-oci.org/docdown/?docID=4456&refID=1250>
 40. Muslim league launches Ramadan food basket - New Vision, diakses Mei 10, 2025, https://www.newvision.co.ug/category/news/muslim-league-launches-ramadan-food-basket-NV_205934
 41. Muslim World League - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Muslim_World_League
 42. Islamic Crescents Observation Project (ICOP) - International ..., diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop.html?l=en>
 43. International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/?l=en>
 44. Kalender Hijriah Global Tunggal, diakses Mei 10, 2025, <https://umsb.ac.id/berita/index/1528-kalender-hijriah-global-tunggal>
 45. Ini Alasan Kriteria Imkanur Rukyat Jadi 3 Derajat Tinggi Hilal dan 6,4 Derajat Elongasi, diakses Mei 10, 2025, <https://nu.or.id/nasional/ini-alasan-kriteria-imkanur-rukyat-jadi-3-derajat-tinggi-hilal-dan-6-4-derajat-elongasi-CHNmU>
 46. digilib.uinsa.ac.id, diakses Mei 10, 2025, http://digilib.uinsa.ac.id/64875/2/Siti%20Maratussholihah_C96219066.pdf
 47. Mengapa Muhammadiyah Memilih Wujudul Hilal Dibanding Imkan Rukyat?, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2023/03/mengapa-muhammadiyah-memilih-wujudul-hilal-dibanding-imkan-rukyat/>
 48. Tentang Hisab Hakiki Wujudul Hilal, Cara Muhammadiyah Tetapkan Awal Ramadan, diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/hikmah/khazanah/d-6545400/tentang-hisab-hakiki-wujudul-hilal-cara-muhammadiyah-tetapkan-awal-ramadan>
 49. Principles and Practices: Unveiling Muhammadiyah Approach to the Global Hijri Calendar, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/principles-and-practices-unveiling-muhammadiyah-approach-to-the-global-hijri-calendar/>
 50. Dari Wujudul Hilal ke Kalender Hijriah Global Tunggal: Alasan dan Pertimbangan, diakses Mei 10, 2025, <https://pwmjateng.com/dari-wujudul-hilal-ke-kalender-hijriah-global-tunggal-alasan-dan-pertimbangan/>
 51. Plus dan Minus Adopsi KHGT oleh Muhammadiyah – MTT - Majelis Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/plus-dan-minus-adopsi-khgt-oleh-muhammadiyah/>
 52. Plus dan Minus Adopsi KHGT oleh Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://pwmjateng.com/plus-dan-minus-adopsi-khgt-oleh-muhammadiyah/>
 53. Apa Itu KHGT-Wujudul Hilal & Puasa Muhammadiyah Berapa Hari? - Tirto.id, diakses Mei 10, 2025, <https://tirto.id/apa-itu-khgt-wujudul-hilal-puasa-ramadhan-muhammadiyah-2025-berapa-hari-g8se>

54. Hisab Hakiki Wujudul Hilal, Motode Muhammadiyah Tetapkan 1 Syawal - RRI, diakses Mei 10, 2025, <https://rri.co.id/index.php/nasional/1427616/hisab-hakiki-wujudul-hilal-motode-muhammadiyah-tetapkan-1-syawal>
55. Argumen Muhammadiyah dalam berpegang kepada Hisab – MTT – Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/argumen-muhammadiyah-dalam-berpegang-kepada-hisab/>
56. Kenapa Hisab bukan Rukyat? Alasan Relevansi dan Fikih - Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/02/kenapa-hisab-bukan-rukkyat-alasan-relevansi-dan-fikih/>
57. eprints.walisongo.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://eprints.walisongo.ac.id/10314/1/FULL.pdf>
58. Mengapa Muhammadiyah Beralih ke Kalender Hijriah Global Tunggal Mulai Tahun Depan? Ini Jawabannya - Kaltim Post, diakses Mei 10, 2025, <https://kaltimpost.jawapos.com/nasional/2385975652/mengapa-muhammadiyah-beralih-ke-kalender-hijriah-global-tunggal-mulai-tahun-depan-ini-jawabannya>
59. Muhammadiyah Siapkan Transisi ke Kalender Hijriah Global, Mulai Kapan? - KBR ID, diakses Mei 10, 2025, <https://kbr.id/berita/nasional/muhammadiyah-siapkan-transisi-ke-kalender-hijriah-global-mulai-kapan->
60. Download Kalender Hijriah Global Tunggal 1446 H Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://www.suaramuhammadiyah.id/read/download-kalender-hijriah-global-tunggal-1446-h-muhammadiyah>
61. Istimbāḥ - Jurnal of Islamic Law/Jurnal Hukum Islam - ISSN 1829-6505 vol. 18, No. 1. p. 1-264 - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/418702-none-3469403c.pdf>
62. Rekonstruksi Kriteria Visibilitas Hilal MABIMS dari 2, 3, 8 Menuju 3, 6, 4 - IBTimes.ID, diakses Mei 10, 2025, <https://ibtimes.id/visibilitas-hilal-mabims/>
63. Catatan Kritis untuk Kriteria Imkan Rukyat yang Baru dari MABIMS ..., diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/05/catatan-kritis-untuk-kriteria-imkan-rukkyat-yang-baru-dari-mabims/>
64. IMKAN AL-RUKYAT MABIMS SOLUSI PENYERAGAMAN KELENDER HIJRIAH - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/41824-ID-imkan-al-rukkyat-mabims-solusi-penyeragaman-kelender-hijriah.pdf>
65. ASTROISLAMICA Rekontruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak Implementasi Kriteria Imkanurukyat MABIMS Baru Dalam Kemaslaha - Rumah Jurnal IAIN Lhokseumawe, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/3642/1454/16041>
66. (PDF) Implementation of the New MABIMS Crescent Visibility ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/362109461_Implementation_of_the_New_MABIMS_Crescent_Visibility_Criteria_Efforts_to_Unite_the_Hijriah_Calendar

- [in the Southeast Asian Region](#)
67. 34 KRITERIA VISIBILITAS HILAL RUKYATUL HILAL INDONESIA (RHI) (KONSEP, KRITERIA, DAN IMPLEMENTASI) Mutoha Arkanuddin & Muh. M - Jurnal UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/737/681>
 68. Implementation of the New MABIMS Crescent Visibility Criteria: Efforts to Unite the Hijriah Calendar in the Southeast Asian Reg - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/362109461_Implementation_of_the_New_MABIMS_Crescent_Visibility_Criteria_Efforts_to_Unite_the_Hijriah_Calendar_in_the_Southeast_Asian_Reg/fulltext/636c0578431b1f5300842b39/Implementation-of-the-New-MABIMS-Crescent-Visibility-Criteria-Efforts-to-Unite-the-Hijriah-Calendar-in-the-Southeast-Asian-Region.pdf
 69. PELUANG DAN TANTANGAN KALENDER ISLAM INTERNASIONAL MOHAMMAD ILYAS, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/712/574>
 70. Perbedaan Rukyatul Hilal, Imkan Rukyat, dan Wujudul Hilal - Masjid Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://masjidmuhammadiyah.com/perbedaan-rukayatul-hilal-imkan-rukayat-dan-wujudul-hilal/>
 71. Penerapan Kriteria Baru MABIMS Berpengaruh pada Penentuan Awal Bulan Hijriah - BRIN - Badan Riset dan Inovasi Nasional, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/press-release/117790/penerapan-kriteria-baru-mabims-berpengaruh-pada-penentuan-awal-bulan-hijriah>
 72. Hisab dan Rukyatul Hilal Oleh Drs, Baidhowi.HB,S.H | (31/10), diakses Mei 10, 2025, <https://www.ms-aceh.go.id/berita-artikel-galeri/artikel/174-hisab-dan-rukayatul-hilal-oleh-drs-baidhowihbsh--3110.html>
 73. Hisab dan Rukyatul Hilal Oleh Drs, Baidhowi.HB,S.H | (31/10), diakses Mei 10, 2025, <https://ms-aceh.go.id/berita-artikel-galeri/artikel/174-hisab-dan-rukayatul-hilal-oleh-drs-baidhowihbsh--3110.html>
 74. Determination of Hijri Calendar in Islamic History and Its Criteria in Southeast Asia, diakses Mei 10, 2025, <https://jml.um.edu.my/index.php/JAT/article/download/45242/17123>
 75. Kajian Kriteria Hisab Global Turki dan Usulan Kriteria Baru MABIMS dengan Menggunakan Algoritma Jean Meeus, diakses Mei 10, 2025, <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=804759&val=7257&title=Kajian%20Kriteria%20Hisab%20Global%20Turki%20dan%20Usulan%20Kriteria%20Baru%20MABIMS%20dengan%20Menggunakan%20Algoritma%20Jean%20Meeus>
 76. The Global Islamic Calendar: A Means of Unity for Muslims Worldwide - Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/the-global-islamic-calendar-a-means-of-unity-for-muslims-worldwide/>
 77. PENENTUAN BATAS MINIMUM PARAMETER VISIBILITAS HILAL SAAT SUMMER

- SOLSTICE DAN WINTER SOLSTICE Imas Musfiroh Himpunan Astronomi Am, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/6435/5311>
78. The Role of Modern Observation in Understanding the Beginning of the Hijri Month - Journal IAIN Manado, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iain-manado.ac.id/index.php/JIS/article/download/1128/1038>
 79. Menentukan Awal Ramadhan Dengan Hilal dan Hisab - Muslim.or.id, diakses Mei 10, 2025, <https://muslim.or.id/328-menentukan-awal-ramadhan-dengan-hilal-dan-hisab.html>
 80. Melihat Lebih Dalam Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nu.or.id/lapsus/melihat-lebih-dalam-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah-ILIVz>
 81. jurnal.fsh.uinsa.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.fsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/788/577/2487>
 82. Mengapa Rukyatul Hilal Penting bagi Umat Islam? - RRI, diakses Mei 10, 2025, <https://rri.co.id/ramadan/1400893/mengapa-rukkyatul-hilal-penting-bagi-umat-islam>
 83. Apa itu Hilal? Pengertian, Metode Pemantauan, dan Dalilnya - detikcom, diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jabar/berita/d-7235630/apa-itu-hilal-pengertian-metode-pemantauan-dan-dalilnya>
 84. Beyond the Naked Eye: Technology, Tradition, and the Islamic Lunar Calendar - mehbooba, diakses Mei 10, 2025, <https://www.mehbooba.com/beyond-the-naked-eye-technology-tradition-and-the-islamic-lunar-calendar/>
 85. Mengenal Rukyatul Hilal, Imkan Rukyat, dan Wujudul Hilal | Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/03/mengenal-rukkyatul-hilal-imkan-rukkyat-dan-wujudul-hilal/>
 86. FAKTOR ATMOSFER DALAM VISIBILITAS HILAL MENURUT BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA (BMKG) TESIS Oleh: Badrul Munir NIM. - UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/12126/1/TESIS_1600028003_BADRUL_MUNIR.pdf
 87. Ketajaman Mata Dalam Kriteria Visibilitas Hilal - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/268354-ketajaman-mata-dalam-kriteria-visibilita-d264a7d9.pdf>
 88. Pengaruh Cuaca dan Iklim Pada Pengamatan Hilal Dalam ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.climate4life.info/2019/06/pengaruh-cuaca-dan-iklim-pada-pengamatan-hilal-penentuan-1-syawal.html>
 89. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terlihat nya Hilal – Falak ABI, diakses Mei 10, 2025, <https://falak-abi.id/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-terlihat-nya-hilal/>
 90. jurnal.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/1526/1571>
 91. UJIAN KONSISTENSI PENERAPAN KRITERIA VISIBILITAS DALAM KASUS HILAL PENENTU AWAL RAMADAN 1446 H - BERITA UPI, diakses Mei 10, 2025, <https://berita.upi.edu/ujian-konsistensi-penerapan-kriteria-visibilitas-dalam->

- [kasus-hilal-penentu-awal-ramadan-1446-h/](#)
92. PENENTUAN PARAMETER FISIS HILAL SEBAGAI USULAN KRITERIA VISIBILITAS DI WILAYAH TROPIS, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.unnes.ac.id/nju/f/article/download/3821/3508>
 93. Crescent Moon Visibility - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/crescent>
 94. FREQUENTLY ASKED QUESTIONS ABOUT MOON-SIGHTING, diakses Mei 10, 2025, https://www.moonsighting.com/faq_ms.html
 95. diakses Januari 1, 1970, https://astronomycenter.net/articles/articles_show.html?id=11
 96. 63 PROBLEM AND SOLUTIONS FOR ACCEPTING A SINGLE GLOBAL ISLAMIC CALENDAR Muhammad Hidayat* Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara - unimel, diakses Mei 10, 2025, <https://unimel.edu.my/journal/index.php/JLG/article/download/1890/1480>
 97. Kalender Islam Global: Definisi dan Urgensi - Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2023/10/kalender-islam-global-definisi-dan-urgensi/>
 98. The Issues and Prospects of the Global Islamic Calendar | Atlantis Press, diakses Mei 10, 2025, <https://www.atlantispress.com/proceedings/iccd-20/125945171>
 99. The Problem of Studying Hadith Without the Madhabs - The Usuli, diakses Mei 10, 2025, <https://theusuli.com/2021/01/18/the-problem-of-studying-hadith-without-the-madhabs/>
 100. Is It Wrong To Learn From International Scholars Instead of Local Scholars? - SeekersGuidance, diakses Mei 10, 2025, <https://seekersguidance.org/answers/general-counsel/is-it-wrong-for-me-to-learn-from-international-scholars-that-i-trust-instead-of-local-scholars/>
 101. Islamic calendar - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_calendar
 102. Transformasi Kalender Islam di Turki dari Rukyat ke Hisab - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/391221220 Transformasi Kalender Isl
am di Turki dari Rukyat ke Hisab](https://www.researchgate.net/publication/391221220_Transformasi_Kalender_Islam_di_Turki_dari_Rukyat_ke_Hisab)

BAB VII

KRITERIA VISIBILITAS HILAL: TEORI DAN PERHITUNGAN

7.1 Pendahuluan

Penentuan awal bulan Kamariyah, khususnya Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah, memegang peranan fundamental dalam kehidupan umat Islam. Hal ini disebabkan oleh keterkaitan langsung penetapan tersebut dengan pelaksanaan berbagai ibadah inti, seperti puasa Ramadhan, perayaan Idul Fitri, pelaksanaan ibadah haji, dan peringatan Idul Adha.¹ Isu mengenai penetapan awal bulan ini senantiasa menjadi diskursus penting dan tidak jarang menimbulkan perbedaan pandangan di kalangan umat Islam, baik pada tingkat lokal, nasional, maupun internasional.³ Perbedaan ini seringkali bersumber dari variasi dalam metode dan kriteria yang digunakan untuk menentukan visibilitas hilal, yaitu bulan sabit muda pertama yang terlihat setelah fase konjungsi (ijtimak).

Kriteria visibilitas hilal memainkan peran sentral dalam diskursus ini, tidak hanya sebagai penentu teknis astronomis, tetapi juga sebagai elemen kunci dalam upaya menuju unifikasi Kalender Hijriah. Upaya penyatuan kalender ini diharapkan dapat meminimalisir perbedaan dalam memulai dan mengakhiri ibadah, serta memperkuat kohesi sosial umat Islam.⁶ Kompleksitas persoalan ini tidak hanya terletak pada aspek teknis perhitungan astronomi, tetapi juga melibatkan dimensi teologis, yuridis (fikih), perkembangan ilmu pengetahuan, serta dinamika sosial-politik dalam komunitas Muslim. Pemahaman yang mendalam terhadap berbagai kriteria visibilitas hilal, landasan teoretisnya, parameter perhitungannya, serta analisis komparatif dan implikasinya menjadi krusial.

Bab ini bertujuan untuk mengupas secara komprehensif dan rinci mengenai berbagai kriteria visibilitas hilal yang diakui dan diterapkan, terutama di Indonesia dan kawasan Asia Tenggara. Pembahasan akan mencakup definisi dan signifikansi hilal dalam perspektif syariat Islam, telaah mendalam terhadap kriteria Imkanur Rukyat yang diadopsi oleh MABIMS (Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura) dan Kementerian Agama Republik Indonesia, serta kriteria Wujudul Hilal yang dipegang oleh Muhammadiyah. Lebih lanjut, bab ini akan menguraikan parameter-parameter astronomis kunci yang memengaruhi kenampakan hilal beserta dasar perhitungannya, dan memperkenalkan model-model prediksi visibilitas hilal yang

populer. Analisis akan didasarkan pada sumber-sumber ilmiah kredibel, termasuk jurnal-jurnal bereputasi, untuk menyajikan pembahasan yang layak dan komprehensif. Upaya unifikasi kalender Hijriah melalui standardisasi kriteria visibilitas hilal sejatinya menghadapi tantangan fundamental dalam menyelaraskan prinsip kepastian hukum yang seringkali ditawarkan oleh metode hisab (perhitungan astronomis) dengan otentisitas pengalaman religius yang diasosiasikan dengan rukyat (observasi visual).

7.2 Definisi dan Signifikansi Hilal dalam Syariat Islam

Pemahaman yang akurat mengenai definisi hilal, baik secara etimologis maupun terminologis dalam konteks astronomi Islam, serta signifikansinya berdasarkan landasan syar'i, merupakan fondasi penting sebelum membahas berbagai kriteria visibilitasnya.

7.2.1 Pengertian Hilal: Etimologi dan Terminologi Astronomi Islam

Secara etimologis, kata "hilal" (هلال) dalam bahasa Arab berasal dari akar kata *halla* (هَلَلَ) yang berarti tampak, terlihat, atau muncul, atau dari kata *ahalla* (أَهْلَلَ) yang juga memiliki makna serupa.⁹ Bentuk jamak dari hilal adalah *ahillah* (أَهْلَلَةٌ). Secara harfiah, kata hilal dapat merujuk pada bulan sabit yang pertama kali terlihat, khususnya pada satu atau dua malam pertama awal bulan Kamariyah. Selain itu, kata ini juga dapat berarti bulan yang terlihat pada permulaan bulan, bahkan dalam konteks lain dapat merujuk pada warna putih yang terdapat di pangkal kuku.⁹

Dalam terminologi astronomi Islam, hilal secara spesifik didefinisikan sebagai penampakan visual pertama dari bulan sabit muda setelah fase bulan baru astronomis atau konjungsi (ijtimak). Observasi hilal ini dilakukan dari permukaan Bumi, lazimnya sesaat setelah matahari terbenam (ghurub) di ufuk barat.⁶ Wujud fisik hilal pada saat pertama kali terlihat adalah berupa lengkungan cahaya yang sangat tipis. Panjang busur dari lengkungan cahaya ini bervariasi tergantung pada usia hilal; semakin muda usia hilal (dihitung sejak ijtimak), semakin pendek dan tipis lengkungan cahayanya.⁹

Kelahiran hilal secara astronomis selalu didahului oleh fenomena ijtimak atau konjungsi. Ijtimak adalah momen ketika Bumi, Bulan, dan Matahari berada dalam satu garis bujur ekliptika yang kurang lebih sama, jika dilihat dari perspektif geosentris. Pada saat ijtimak, sisi Bulan yang menghadap Bumi tidak menerima cahaya Matahari, sehingga Bulan tidak terlihat dari Bumi. Momen ijtimak ini menandai akhir dari bulan Kamariyah yang sedang berjalan dan merupakan titik awal perhitungan untuk kemunculan hilal bulan berikutnya.⁹

Penekanan etimologis pada aspek "visibilitas" atau "keterlihatan" dalam kata "hilal" memberikan landasan linguistik yang kuat bagi pandangan yang memprioritaskan rukyat, yaitu penglihatan fisik, sebagai metode utama dalam penentuan awal bulan Kamariyah. Hal ini secara alamiah mendukung praktik rukyatul hilal. Namun, ketika ilmu astronomi modern mampu menghitung secara presisi "keberadaan" atau *wujud* hilal di atas ufuk meskipun belum tentu dapat terlihat dengan mata telanjang, muncul diskursus interpretatif. Pertanyaan mendasar yang timbul adalah apakah "keterlihatan" fisik (rukya) tetap menjadi satu-satunya syarat mutlak, ataukah "keberadaan" astronomis (wujud) hilal di atas ufuk sudah mencukupi untuk menandai masuknya bulan baru. Inilah salah satu titik sentral perbedaan pandangan antara kriteria Imkanur Rukyat dan Wujudul Hilal.

Lebih lanjut, definisi hilal sebagai "bulan sabit muda pertama kali setelah fase konjungsi" mengimplikasikan adanya suatu periode di mana Bulan tidak tampak dari Bumi, yang dikenal sebagai fase *mahak*. Periode ini berlangsung antara hilal tua terakhir dari bulan sebelumnya hingga kemunculan hilal muda pertama pada awal bulan berikutnya. Pemahaman terhadap siklus sinodis Bulan ini, termasuk periode ketidaktampakan tersebut, menjadi sangat penting untuk memastikan akurasi dalam perhitungan hisab astronomis.

7.2.2 Landasan Syar'i Signifikansi Hilal: Dalil Al-Qur'an dan Hadis

Signifikansi hilal dalam syariat Islam ditegaskan melalui berbagai dalil dari Al-Qur'an dan Hadis Nabi Muhammad SAW. Dalil-dalil ini menjadi dasar kewajiban dan panduan bagi umat Islam dalam menentukan waktu-waktu ibadah.

- **Dalil Al-Qur'an:**

- Firman Allah SWT dalam QS. Al-Baqarah (2): 189:

يَسْأَلُونَكَ عَنِ الْأَهِلَّةِ قُلْ هِيَ مَوَاقِيتُ لِلنَّاسِ وَالْحَجِّ (189)

Artinya: "Mereka bertanya kepadamu (Muhammad) tentang hilal (bulan sabit). Katakanlah, 'Itu adalah tanda-tanda waktu (miqat) bagi manusia dan (untuk ibadah) haji'..."

Ayat ini secara eksplisit menyatakan fungsi hilal sebagai penanda waktu, baik untuk urusan muamalah manusia secara umum maupun untuk pelaksanaan ibadah haji secara khusus.⁹

- Firman Allah SWT dalam QS. Al-Baqarah (2): 185:

فَمَنْ شَهِدَ مِنْكُمُ الشَّهْرَ فَلْيَصُمْهُ

Artinya: "...Barangsiapa di antara kamu menyaksikan bulan (Ramadhan), maka hendaklah ia berpuasa..."

Kata "syahida" yang berarti menyaksikan atau melihat, menjadi landasan utama bagi kewajiban melaksanakan ibadah puasa di bulan Ramadhan.⁴

- Ayat-ayat lain yang sering dijadikan rujukan, terutama oleh kalangan yang mendukung penggunaan hisab (perhitungan astronomis), adalah QS. Yunus (10): 5:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ (5) إِنَّ فِي اخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَمَا خَلَقَ اللَّهُ فِي السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَتَّقُونَ { (6)

Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kalian mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui. Sesungguhnya pada pertukaran malam dan siang itu dan pada yang diciptakan Allah di langit dan di bumi benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan-Nya) bagi orang-orang yang bertakwa.¹

Serta QS. Ar-Rahman (55): 5:

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ

Artinya: "Matahari dan bulan (beredar) menurut perhitungan."¹⁷ Kedua ayat ini mengisyaratkan adanya keteraturan dan presisi dalam peredaran benda-benda langit yang memungkinkan dilakukannya perhitungan.

- **Dalil Hadis:**

- Hadis yang paling populer dan menjadi rujukan utama adalah riwayat dari Ibnu Umar RA dan Abu Hurairah RA, bahwa Nabi Muhammad SAW bersabda:

صُومُوا لِرُؤْيَيْهِ وَأَفْطِرُوا لِرُؤْيَيْهِ، فَإِنْ غَمَّ عَلَيْكُمْ فَأَقْدُرُوا لَهُ ثَلَاثِينَ

Artinya: "Berpuasalah kalian karena melihatnya (hilal Ramadhan) dan berbukalah (mengakhiri puasa/Idul Fitri) kalian karena melihatnya (hilal Syawal). Jika ia (hilal) terhalang oleh awan/mendung dari pandangan kalian, maka sempurnakanlah bilangan (bulan Syakban/Ramadhan) menjadi tiga puluh

hari." Hadis ini diriwayatkan oleh Imam Bukhari dan Muslim.⁴

- Terdapat variasi redaksi dalam beberapa riwayat hadis terkait kondisi hilal yang terhalang, seperti penggunaan frasa *فَأَقْذُرُوا اللَّهَ* (maka perkirakanlah/ kadarkanlah untuknya). Frasa ini menjadi salah satu titik interpretasi yang signifikan di kalangan ulama, di mana sebagian memahaminya sebagai perintah untuk melakukan estimasi atau perhitungan.⁹
- Terdapat pula hadis-hadis yang mengatur tentang kesaksian rukyatul hilal. Mayoritas ulama fikih berpendapat bahwa kesaksian satu orang Muslim yang 'adil (memiliki integritas moral dan agama) sudah cukup untuk menetapkan awal Ramadhan, sedangkan untuk penetapan awal Syawal (Idul Fitri) disyaratkan kesaksian minimal dua orang.¹³

Perintah "rukya" dalam hadis, khususnya ketika dihadapkan pada kondisi "ghumma" (hilal terhalang awan atau cuaca buruk), dan adanya alternatif tindakan seperti "menyempurnakan bilangan bulan" (istikmal) atau "memperkirakan" (*faqdurū lahu*), secara inheren membuka ruang ijtihad yang luas bagi para ulama. Kelompok yang berpegang teguh pada rukyat fisik sebagai satu-satunya metode yang sah akan cenderung memilih opsi istikmal, yaitu menggenapkan bulan berjalan menjadi 30 hari, jika hilal tidak terlihat. Di sisi lain, kelompok yang lebih akomodatif terhadap penggunaan hisab astronomis dapat menafsirkan perintah *faqdurū lahu* sebagai justifikasi syar'i untuk menggunakan perhitungan astronomis, terutama dalam situasi di mana observasi visual tidak memungkinkan. Diskursus interpretatif inilah yang menjadi salah satu akar perbedaan metodologis dalam penetapan awal bulan Kamariyah.

Sementara itu, ayat-ayat Al-Qur'an seperti QS. Yunus (10): 5 dan QS. Ar-Rahman (55): 5, yang menyinggung keteraturan peredaran matahari dan bulan serta fungsinya untuk "perhitungan" (*hisab* atau *husban*), menyediakan landasan teologis yang kuat bagi para pendukung metode hisab. Argumen yang dibangun adalah bahwa Allah SWT telah menciptakan sistem alam semesta dengan hukum-hukum yang presisi dan dapat diprediksi melalui ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, penggunaan ilmu astronomi untuk menghitung dan menentukan posisi benda-benda langit, termasuk hilal, dianggap sejalan dengan spirit Al-Qur'an yang mendorong umatnya untuk menggunakan akal dan mengembangkan ilmu pengetahuan. Pendekatan ini menggeser fokus dari ketergantungan mutlak pada observasi visual semata menjadi pemanfaatan kapabilitas saintifik untuk memahami dan mengaplikasikan hukum alam yang telah ditetapkan oleh Sang Pencipta.

7.2.3 Peran Sentral Hilal dalam Penetapan Waktu Ibadah

Hilal memiliki peran sentral dan tak tergantikan dalam penetapan waktu pelaksanaan

berbagai ibadah penting dalam Islam, serta beberapa aspek hukum syar'i lainnya.

- **Puasa Ramadhan dan Idul Fitri:** Penentuan awal bulan Ramadhan, yang menandai dimulainya kewajiban berpuasa bagi seluruh umat Islam yang memenuhi syarat, secara syar'i bergantung pada terlihatnya hilal Ramadhan pada tanggal 29 Syakban, atau dengan menyempurnakan (istikmal) bulan Syakban menjadi 30 hari jika hilal tidak terlihat. Demikian pula, penentuan awal bulan Syawal, yang menandai berakhirnya bulan Ramadhan dan datangnya hari raya Idul Fitri, juga didasarkan pada rukyatul hilal Syawal pada tanggal 29 Ramadhan atau istikmal bulan Ramadhan.¹
- **Idul Adha dan Ibadah Haji:** Penetapan awal bulan Zulhijah juga krusial karena berkaitan langsung dengan pelaksanaan rangkaian ibadah haji, yang merupakan salah satu rukun Islam. Hari Arafah, saat jamaah haji melaksanakan wukuf di Padang Arafah, jatuh pada tanggal 9 Zulhijah, dan hari raya Idul Adha dirayakan pada tanggal 10 Zulhijah. Kepastian awal Zulhijah ditentukan melalui observasi hilal atau istikmal bulan Dzulqa'dah.¹
- **Masa Iddah Wanita:** Selain ibadah-ibadah utama, hilal juga berfungsi sebagai salah satu penanda waktu dalam perhitungan masa iddah (masa tunggu) bagi seorang wanita setelah diceraikan oleh suaminya atau ditinggal wafat. Penafsiran terhadap QS. Al-Baqarah (2): 189 mengisyaratkan bahwa hilal menjadi acuan dalam menentukan durasi iddah bagi wanita.⁹

Ketergantungan ibadah-ibadah fardhu yang sangat fundamental, seperti puasa Ramadhan dan haji (yang merupakan bagian dari rukun Islam), pada penetapan hilal menunjukkan urgensi teologis dan praktis yang sangat tinggi. Hal ini mendorong perlunya metode penentuan awal bulan yang tidak hanya akurat secara astronomis tetapi juga dapat diterima secara luas oleh umat Islam. Perbedaan dalam penetapan hilal secara langsung berimplikasi pada sah atau tidaknya, serta ketepatan waktu pelaksanaan, ibadah-ibadah utama tersebut. Sebagai contoh, pelaksanaan puasa Arafah, yang sangat dianjurkan bagi umat Islam yang tidak sedang berhaji, akan kehilangan esensi utamanya jika hari pelaksanaannya tidak sinkron dengan waktu wukuf yang sebenarnya di Arafah. Oleh karena itu, upaya untuk menemukan kriteria visibilitas hilal yang paling mendekati kebenaran syar'i dan dapat diimplementasikan secara konsisten menjadi sebuah keniscayaan.

Lebih jauh lagi, signifikansi hilal yang meluas hingga ke aspek hukum keluarga, seperti penentuan masa iddah, menunjukkan bahwa sistem kalender Kamariyah yang berbasis pada hilal bukan hanya sekadar kalender ritual, melainkan juga berfungsi sebagai kalender sipil-syar'i yang mengatur berbagai aspek kehidupan umat Muslim. Fungsi

ganda ini memperkuat argumen akan pentingnya pengembangan dan pemeliharaan kalender Hijriah yang fungsional, prediktif, dan dapat diandalkan, tidak hanya untuk pelaksanaan ibadah musiman tetapi juga untuk urusan-urusan legal-sosial yang berkelanjutan dalam masyarakat Muslim.

7.3 Kriteria Imkanur Rukyat

Kriteria Imkanur Rukyat merupakan salah satu pendekatan utama yang digunakan oleh banyak negara Muslim, termasuk Indonesia melalui Kementerian Agama dan MABIMS, dalam menentukan awal bulan Kamariyah. Kriteria ini berusaha menggabungkan aspek observasional (rukya) dengan parameter-parameter astronomis (hisab) untuk mencapai objektivitas dan kepastian yang lebih tinggi.

7.3.1 Konsep Dasar dan Filosofi Imkanur Rukyat

Secara harfiah, Imkanur Rukyat (إمكانية الرؤية) berarti "kemungkinan untuk dapat dilihatnya hilal".²⁶ Konsep ini lahir dari upaya untuk menjembatani dua metode utama dalam penentuan awal bulan Kamariyah, yaitu metode rukya (observasi visual hilal secara langsung) dan metode hisab (perhitungan astronomis posisi hilal).⁷ Filosofi dasar Imkanur Rukyat adalah bahwa awal bulan baru Kamariyah dianggap masuk apabila pada saat matahari terbenam pada hari ke-29 bulan berjalan, posisi hilal telah memenuhi serangkaian parameter astronomis tertentu yang secara ilmiah memungkinkan hilal tersebut untuk dapat terlihat oleh mata manusia, baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan alat optik. Meskipun demikian, dalam praktiknya, laporan hasil rukya aktual seringkali tetap menjadi salah satu pertimbangan penting, atau bahkan konfirmasi akhir, dalam penetapan resmi awal bulan.⁷

Salah satu tujuan utama dari penerapan kriteria Imkanur Rukyat adalah untuk memberikan batasan ilmiah terhadap laporan-laporan kesaksian rukya. Dengan adanya ambang batas parameter astronomis (seperti ketinggian minimal hilal di atas ufuk, elongasi minimal antara Bulan dan Matahari, dan usia minimal hilal), kriteria ini berfungsi untuk menyaring dan menolak kesaksian rukya yang secara astronomis dianggap tidak mungkin atau sangat kecil kemungkinannya untuk terjadi.⁷ Sebagai contoh, jika perhitungan hisab menunjukkan bahwa hilal pada saat matahari terbenam masih berada di bawah ufuk atau memiliki elongasi yang sangat kecil sehingga secara teoretis belum membentuk sabit yang cukup tebal untuk dilihat, maka klaim kesaksian melihat hilal pada kondisi tersebut dapat dipertanyakan validitasnya.

Dengan demikian, kriteria Imkanur Rukyat secara filosofis mengakui validitas rukya

sebagai praktik yang memiliki landasan dalam tradisi Islam, namun berupaya untuk mengobjektifikannya melalui integrasi dengan data dan perhitungan saintifik. Pendekatan ini mencerminkan sebuah ijtihad kontemporer yang berusaha menyelaraskan antara tuntunan syar'i dengan perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya astronomi. Ini adalah upaya untuk menghindari subjektivitas yang berlebihan dan potensi kesalahan yang mungkin timbul dari kesaksian rukyat semata, sekaligus memastikan bahwa penetapan awal bulan didasarkan pada kondisi astronomis yang memang memungkinkan hilal untuk terlihat. Adopsi Imkanur Rukyat oleh lembaga-lembaga otoritatif seperti MABIMS dan Kementerian Agama Republik Indonesia menandakan adanya pergeseran paradigmatis dari pendekatan rukyat murni, yang sangat rentan terhadap kondisi atmosfer lokal dan subjektivitas pengamat, menuju sebuah pendekatan yang lebih sistematis, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, meskipun aspek observasional tidak sepenuhnya ditinggalkan.

7.3.2 Sejarah Perkembangan dan Evolusi Kriteria Imkanur Rukyat MABIMS

Kriteria Imkanur Rukyat yang diterapkan oleh MABIMS (Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura) telah mengalami evolusi signifikan seiring dengan perkembangan kajian astronomi dan kebutuhan akan unifikasi kalender Hijriah di kawasan Asia Tenggara. MABIMS sendiri secara resmi mulai mengadakan pertemuan pada tahun 1989 di Brunei Darussalam, dengan salah satu agenda pentingnya adalah upaya penyatuan Kalender Islam di tingkat regional.⁷

Pada tahap awal, negara-negara anggota MABIMS, termasuk Indonesia yang mengadopsinya pada tahun 1992, menyepakati kriteria Imkanur Rukyat yang kemudian dikenal dengan sebutan "kriteria 2-3-8". Kriteria ini menetapkan bahwa hilal dianggap mungkin terlihat, dan bulan baru Kamariyah dimulai, apabila pada saat matahari terbenam pada tanggal 29 bulan berjalan, terpenuhi salah satu dari kondisi berikut:

1. Ketinggian hilal (altitude) minimal 2° di atas ufuk, DAN jarak lengkung atau elongasi sudut antara Bulan dan Matahari minimal 3° .
2. ATAU, usia hilal minimal 8 jam dihitung sejak saat ijtimak (konjungsi geosentris).⁴

Kriteria 2-3-8 ini diterapkan selama beberapa dekade. Namun, seiring dengan kemajuan penelitian dalam bidang visibilitas hilal dan tersedianya data observasi yang lebih ekstensif dari berbagai belahan dunia, muncul kajian-kajian yang mengindikasikan bahwa kriteria tersebut mungkin terlalu rendah untuk secara konsisten menjamin keterlihatan hilal, terutama dengan mata telanjang dalam kondisi atmosfer yang tidak

ideal.

Sebagai respons terhadap perkembangan ini, serta didorong oleh keinginan untuk meningkatkan akurasi dan keseragaman dalam penetapan awal bulan, negara-negara anggota MABIMS melakukan kajian ulang terhadap kriteria yang ada. Puncaknya, pada pertemuan tahun 2016, disepakati sebuah kriteria baru yang kemudian dikenal sebagai "Neo-MABIMS" atau "kriteria MABIMS baru". Kriteria ini secara signifikan meningkatkan ambang batas parameter visibilitas, yaitu:

1. Ketinggian hilal (altitude) minimal 3° di atas ufuk, DAN
 2. Jarak lengkung atau elongasi sudut antara Bulan dan Matahari minimal 6.4° .⁴
- Parameter usia hilal tidak lagi menjadi kriteria mandiri dalam formulasi baru ini, karena secara implisit telah terakomodasi dalam parameter ketinggian dan elongasi yang lebih tinggi.

Implementasi kriteria baru MABIMS ini dilakukan secara bertahap di negara-negara anggota. Singapura dilaporkan mulai menerapkannya pada tahun 2019 atau 2021²⁹, sementara Indonesia secara resmi mengadopsi dan menerapkannya mulai tahun 2022 (1443 H).⁴ Kesepakatan formal antar negara anggota mengenai kriteria baru ini ditandai dengan penandatanganan surat bersama secara *ad referendum* pada tahun 2021.²⁹

Perubahan dari kriteria 2-3-8 menjadi 3-6.4 ini dilandasi oleh pertimbangan ilmiah yang kuat, bertujuan untuk meningkatkan probabilitas visibilitas fisik hilal dan merujuk pada data observasi serta model-model astronomis yang lebih mutakhir.⁴ Peningkatan ambang batas parameter ini mencerminkan sebuah proses pembelajaran kolektif dan adaptasi ilmiah di tingkat regional. Hal ini menunjukkan pengakuan bahwa kriteria sebelumnya mungkin kurang optimal dalam menjamin visibilitas yang konsisten. Selain itu, perubahan ini juga dipengaruhi oleh model-model visibilitas internasional yang lebih baru dan berbasis pada analisis data observasi yang lebih luas, seperti model yang dikembangkan oleh Mohammad Odeh, yang merekomendasikan elongasi minimal 6.4° sebagai batas untuk visibilitas hilal dengan bantuan alat optik dalam kondisi tertentu.²⁸ Evolusi ini menandakan bahwa MABIMS bersifat dinamis dan responsif terhadap perkembangan ilmu astronomi, dengan tujuan utama meningkatkan reliabilitas dan objektivitas kriteria Imkanur Rukyat.

Meskipun demikian, proses adopsi dan implementasi kriteria baru MABIMS yang dilakukan secara bertahap dan melalui mekanisme *ad referendum* mengindikasikan adanya kompleksitas dalam mencapai konsensus penuh dan seragam di antara negara-negara anggota. Setiap negara mungkin memiliki pertimbangan domestik,

tradisi hisab-rukyat yang telah mapan, atau dinamika internal dengan organisasi-organisasi Islam yang perlu diakomodasi, meskipun terdapat tujuan bersama untuk unifikasi kalender di tingkat regional.⁵

7.3.3 Kriteria Imkanur Rukyat Kementerian Agama RI

Kementerian Agama Republik Indonesia (Kemenag RI) secara resmi mengadopsi dan mengimplementasikan kriteria Imkanur Rukyat yang disepakati dalam forum MABIMS sebagai dasar utama dalam penetapan awal bulan-bulan Kamariyah. Penetapan ini memiliki signifikansi tinggi, terutama untuk bulan-bulan yang berkaitan langsung dengan pelaksanaan ibadah inti umat Islam, yaitu Ramadhan (untuk memulai dan mengakhiri puasa), Syawal (untuk perayaan Idul Fitri), dan Zulhijah (untuk pelaksanaan wukuf di Arafah dan perayaan Idul Adha).²⁶

Implementasi kriteria Imkanur Rukyat oleh Kemenag RI dilakukan melalui sebuah mekanisme formal yang dikenal dengan nama Sidang Isbat. Sidang Isbat diselenggarakan oleh Kemenag pada sore hari tanggal 29 setiap bulan Kamariyah, menjelang penentuan awal bulan Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah.²⁷ Forum ini dihadiri oleh berbagai pihak, termasuk perwakilan dari Majelis Ulama Indonesia (MUI), organisasi-organisasi kemasyarakatan Islam, pakar-pakar astronomi dan Astronomi, serta perwakilan dari lembaga-lembaga terkait lainnya.

Proses dalam Sidang Isbat biasanya melibatkan dua tahapan utama:

1. **Paparan Posisi Hilal Berdasarkan Hisab:** Tim ahli dari Kemenag, seringkali dari Badan Hisab Rukyat Kemenag, akan memaparkan data astronomis mengenai posisi hilal pada saat matahari terbenam di seluruh wilayah Indonesia. Paparan ini mencakup parameter-parameter kunci seperti ketinggian hilal di atas ufuk, elongasi sudut antara Bulan dan Matahari, usia hilal, dan parameter relevan lainnya, yang dihitung berdasarkan kriteria Imkanur Rukyat MABIMS yang berlaku.²⁶
2. **Laporan Hasil Rukyatul Hilal:** Kemenag juga mengoordinasikan pelaksanaan observasi atau rukyatul hilal di berbagai titik lokasi yang tersebar di seluruh provinsi di Indonesia. Tim perukyat yang telah ditugaskan, biasanya terdiri dari petugas Kanwil Kemenag Provinsi/Kabupaten/Kota, ahli falak, dan perwakilan masyarakat, akan melaporkan hasil pengamatan mereka ke pusat. Laporan ini berisi informasi apakah hilal terlihat atau tidak di lokasi pengamatan masing-masing.¹⁴

Setelah mendengarkan paparan data hisab dan laporan hasil rukyat, peserta Sidang Isbat akan melakukan musyawarah untuk menetapkan awal bulan Kamariyah.

Keputusan Sidang Isbat kemudian diumumkan secara resmi oleh Menteri Agama kepada publik. Jika berdasarkan data hisab posisi hilal telah memenuhi kriteria Imkanur Rukyat yang ditetapkan, dan/atau ada laporan kesaksian rukyat yang kredibel dan terverifikasi (sesuai dengan parameter Imkanur Rukyat), maka malam itu ditetapkan sebagai awal bulan baru, dan keesokan harinya adalah tanggal 1 bulan baru tersebut. Namun, jika hilal tidak terlihat dan secara hisab posisinya belum memenuhi kriteria Imkanur Rukyat, maka bulan yang sedang berjalan akan digenapkan (istikmal) menjadi 30 hari, dan awal bulan baru jatuh pada hari berikutnya (lusa).²⁶

Sejak tahun 2022, Kemenag RI secara resmi telah menerapkan kriteria baru MABIMS, yaitu ketinggian hilal minimal 3° dan elongasi minimal 6.4° .⁴ Sidang Isbat yang diselenggarakan oleh Kemenag RI ini memegang peranan penting sebagai forum formal yang melegitimasi keputusan penetapan awal bulan Kamariyah secara nasional. Mekanisme ini mencerminkan upaya negara untuk menyeimbangkan antara penggunaan data saintifik (hisab astronomis), penghormatan terhadap praktik tradisional keagamaan (rukya), dan pemenuhan kebutuhan umat akan adanya keputusan kolektif yang menjadi panduan dalam pelaksanaan ibadah. Meskipun demikian, keputusan Sidang Isbat tidak selalu serta-merta diikuti oleh semua kelompok atau organisasi Islam di Indonesia, mengingat adanya perbedaan dalam kriteria dan metodologi yang dianut, seperti yang akan dibahas lebih lanjut terkait kriteria Wujudul Hilal.

Penerapan kriteria Imkanur Rukyat oleh Kemenag, terutama dengan parameter yang lebih tinggi (3-6.4), secara teoretis berpotensi mengurangi frekuensi perbedaan dalam penetapan awal bulan yang mungkin disebabkan oleh klaim rukyat terhadap hilal yang sangat tipis atau berada pada posisi yang sangat rendah di ufuk, yang secara astronomis sulit untuk diverifikasi. Dengan standar yang lebih tinggi, diharapkan laporan rukyat yang diterima adalah yang benar-benar valid secara ilmiah. Namun, hal ini juga dapat memunculkan situasi di mana hilal secara astronomis telah "wujud" atau berada di atas ufuk menurut kriteria lain (seperti Wujudul Hilal yang hanya mensyaratkan ketinggian positif), tetapi belum memenuhi ambang batas minimal kriteria Imkanur Rukyat MABIMS. Kondisi seperti ini tetap mempertahankan potensi terjadinya perbedaan dalam penetapan awal bulan antara pemerintah dan kelompok masyarakat yang menggunakan kriteria berbeda.

7.3.4 Landasan Ilmiah dan Justifikasi Astronomis Kriteria MABIMS

Perubahan kriteria Imkanur Rukyat MABIMS dari ambang batas sebelumnya (ketinggian 2° , elongasi 3° , atau usia 8 jam) menjadi ketinggian minimal 3° dan elongasi minimal 6.4° didasarkan pada serangkaian pertimbangan ilmiah dan justifikasi astronomis yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas prediksi visibilitas hilal.

- Ketinggian Hilal Minimal 3° :

Penetapan batas minimal ketinggian hilal sebesar 3° di atas ufuk pada saat matahari terbenam dilandasi oleh beberapa faktor astronomis.

Pertama, pada ketinggian yang sangat rendah (misalnya, di bawah 2°), cahaya hilal yang sangat tipis akan mengalami ekstingsi atmosfer yang signifikan. Ekstingsi adalah pelemahan cahaya akibat serapan dan hamburan oleh partikel-partikel di atmosfer Bumi. Semakin rendah objek langit di ufuk, semakin tebal lapisan atmosfer yang harus dilalui cahayanya, sehingga pelemahannya semakin besar. Dengan menetapkan batas minimal 3° , diharapkan efek ekstingsi ini dapat sedikit dikurangi, sehingga meningkatkan peluang hilal untuk dapat terlihat.⁴

Kedua, kontras antara kecerahan hilal dengan kecerahan langit senja (syafak) menjadi faktor penentu. Langit di sekitar ufuk barat sesaat setelah matahari terbenam masih relatif terang. Hilal yang berada terlalu rendah akan tenggelam dalam cahaya syafak ini. Ketinggian 3° dianggap memberikan posisi yang sedikit lebih tinggi sehingga kontrasnya dengan latar belakang langit menjadi lebih baik.²⁸

Beberapa penelitian yang dirujuk dalam justifikasi ini, seperti yang dilakukan oleh Mohammad Ilyas serta Caldwell & Laney, mengindikasikan bahwa beda tinggi (selisih altitude) antara Bulan dan Matahari minimal sekitar 4° diperlukan agar hilal dapat teramati. Mengingat posisi matahari pada saat terbenam secara geometris adalah sekitar -0.83° (memperhitungkan jari-jari matahari dan refraksi standar), maka tinggi bulan minimal yang diperlukan adalah sekitar $4^\circ - 0.83^\circ \approx 3.17^\circ$. Nilai ini kemudian dibulatkan menjadi 3° sebagai batas praktis dalam kriteria MABIMS.²⁸

- Elongasi Minimal 6.4° :

Elongasi adalah jarak sudut antara pusat Bulan dan pusat Matahari jika dilihat dari Bumi. Parameter ini sangat krusial karena secara langsung berkaitan dengan lebar sabit hilal dan kecerahan permukaannya. Semakin besar elongasi, semakin lebar bagian Bulan yang tersinari Matahari dan menghadap ke Bumi, sehingga sabit tampak lebih tebal dan lebih terang.

Penetapan elongasi minimal 6.4° dalam kriteria baru MABIMS sangat dipengaruhi oleh hasil penelitian dan model visibilitas hilal yang dikembangkan oleh Mohammad Odeh pada tahun 2006. Model Odeh, yang didasarkan pada analisis statistik

terhadap ratusan data observasi hilal dari berbagai belahan dunia, menunjukkan bahwa elongasi sekitar 6.4° merupakan batas minimal di mana hilal memiliki lebar sabit dan kecerahan permukaan yang cukup untuk setidaknya dapat terdeteksi dengan menggunakan alat bantu optik (seperti teleskop atau binokular) dalam kondisi atmosfer yang baik. Untuk pengamatan dengan mata telanjang, umumnya diperlukan elongasi yang lebih besar lagi.⁴

Nilai elongasi 6.4° ini juga berdekatan dengan konsep "Batas Danjon" (Danjon Limit). André Danjon, seorang astronom Prancis, pada tahun 1930-an mengemukakan bahwa hilal secara fisik tidak akan terbentuk atau tidak akan dapat terlihat jika elongasi Bulan-Matahari kurang dari sekitar 7° (beberapa penelitian modern merevisinya menjadi sekitar 5° hingga 6.5°). Meskipun Batas Danjon lebih merupakan batas teoretis terbentuknya sabit, nilai 6.4° yang diadopsi MABIMS berada dalam rentang yang secara ilmiah dianggap sebagai batas bawah untuk kemungkinan observasi.²⁷

- Dukungan dari Lembaga Penelitian Nasional:

Kriteria baru MABIMS ini juga mendapatkan dukungan dari lembaga penelitian astronomi nasional seperti LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, kini bagian dari BRIN). LAPAN memberikan justifikasi tambahan, misalnya, dengan argumen bahwa jika kriteria elongasi 6.4° dan tinggi 3° terpenuhi di wilayah Indonesia bagian barat, maka secara geometris posisi hilal di sekitar Garis Tanggal Internasional (International Date Line/IDL) sudah berada di atas ufuk (positif). Lebih lanjut, pada saat yang sama, ketinggian hilal di kawasan Timur Tengah diperkirakan sudah mencapai lebih dari 5° , yang secara signifikan meningkatkan probabilitas keterlihatannya di wilayah tersebut. Argumen ini mencoba menghubungkan kriteria regional MABIMS dengan potensi visibilitas di skala yang lebih luas.⁴

Pemilihan parameter 3° ketinggian dan 6.4° elongasi oleh MABIMS dapat dilihat sebagai sebuah upaya untuk mendasarkan kriteria visibilitas hilal pada data empiris hasil observasi global dan model-model prediksi yang lebih mutakhir. Ini menandakan pergeseran dari ambang batas yang mungkin lebih bersifat konvensional atau kurang didukung oleh analisis statistik data rukyat yang ekstensif, menuju pendekatan yang lebih probabilistik dan saintifik dalam mendefinisikan "imkan" atau kemungkinan terlihatnya hilal. Meskipun demikian, penting untuk dipahami bahwa penetapan angka pasti seperti 3° dan 6.4° tetap mengandung unsur kesepakatan praktis atau konvensi. Data astronomis mengenai visibilitas hilal pada dasarnya menunjukkan sebuah

spektrum probabilitas, bukan sebuah garis batas yang absolut dan tajam. Pemilihan nilai spesifik ini juga tidak lepas dari pertimbangan kebutuhan akan sebuah kriteria yang operasional, dapat diimplementasikan secara seragam di negara-negara anggota MABIMS, dan dapat menjadi landasan bersama dalam penetapan awal bulan Kamariyah di kawasan tersebut.

7.3.5 Perbandingan Kriteria MABIMS dengan Kriteria Internasional Lainnya

Kriteria Imkanur Rukyat MABIMS, dengan parameter ketinggian 3° dan elongasi 6.4° , merupakan salah satu dari berbagai kriteria visibilitas hilal yang diterapkan di dunia Islam. Perbandingan dengan kriteria internasional lainnya menunjukkan keragaman pendekatan dalam menyeimbangkan aspek syar'i, ilmiah, dan praktis.

- **Kriteria Turki (Diyanet/Kalender Fazilet):** Kalender resmi yang dikeluarkan oleh Diyanet (otoritas keagamaan Turki) dan juga Kalender Fazilet yang banyak digunakan, menerapkan kriteria hisab yang lebih tinggi dibandingkan MABIMS. Umumnya, kriteria Turki mensyaratkan elongasi Bulan-Matahari minimal 8° dan ketinggian hilal minimal 5° di atas ufuk pada saat matahari terbenam.²⁸ Salah satu aspek penting dari pendekatan Turki adalah adopsi konsep *Ittihadul Mathali'* (kesatuan matlak global). Artinya, jika hilal telah memenuhi kriteria dan terlihat di mana saja di belahan Bumi (seringkali dengan prioritas observasi di wilayah barat yang secara astronomis lebih mungkin melihat hilal lebih awal), maka awal bulan baru tersebut berlaku secara global untuk seluruh umat Islam. Keputusan ini sering merujuk pada hasil Konferensi Internasional Penyatuan Kalender Hijriah di Istanbul (misalnya, tahun 1978 dan 2016).²⁸
- **Praktik di Timur Tengah dan Afrika Utara:** Di kawasan Timur Tengah dan Afrika Utara, praktik penentuan awal bulan Kamariyah menunjukkan variasi yang cukup signifikan.
 - **Arab Saudi:** Secara resmi, Arab Saudi sangat menekankan pada metode rukyatul hilal aktual. Keputusan awal bulan, terutama untuk Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah, didasarkan pada laporan kesaksian melihat hilal yang diterima dan diverifikasi oleh Mahkamah Agung. Meskipun demikian, Kalender Ummul Qura digunakan secara luas untuk keperluan sipil dan administratif. Kalender Ummul Qura memiliki kriteria hisab tersendiri, yaitu *ijtimak* (konjungsi) harus terjadi sebelum matahari terbenam di Mekkah, dan Bulan harus terbenam setelah Matahari terbenam di Mekkah. Kriteria ini tidak secara eksplisit mensyaratkan batas ketinggian atau elongasi tertentu untuk "visibilitas" tetapi lebih pada "keberadaan" hilal pasca-konjungsi.
 - **Mesir:** Mesir memiliki tradisi rukyatul hilal yang panjang dan kuat, dengan

lembaga seperti Dar al-Ifta yang memainkan peran penting dalam mengumumkan hasil rukyat dan penetapan awal bulan.

- Negara-negara lain di kawasan ini mungkin memiliki komite rukyat nasional atau mengikuti keputusan dari lembaga-lembaga Islam regional atau internasional. Beberapa mungkin juga mengadopsi kriteria hisab tertentu sebagai panduan.
- **Model Mohammad Ilyas (International Lunar Date Line - ILDL):** Mohammad Ilyas, seorang ilmuwan Muslim, mengembangkan konsep Garis Tanggal Bulan Internasional (ILDL) yang membagi dunia menjadi zona-zona visibilitas. Berdasarkan perhitungan kemungkinan terlihatnya hilal secara global, ia mengusulkan sebuah sistem di mana jika hilal terlihat di zona tertentu, maka wilayah di sebelah baratnya akan mengikuti, sementara wilayah di timurnya mungkin harus menunggu hari berikutnya. Kriteria Ilyas sendiri melibatkan parameter seperti beda tinggi Bulan-Matahari minimal 4° (jika beda azimut $>45^\circ$) atau $>10.5^\circ$ (jika beda azimut 0°), waktu terbenam Bulan minimal 41 menit setelah Matahari, dan usia hilal lebih dari 16.5 jam (untuk daerah tropis).⁸

Berikut adalah tabel ringkasan perbandingan beberapa kriteria:

Tabel 7.1: Perbandingan Kriteria Imkanur Rukyat MABIMS dengan Beberapa Kriteria Internasional Utama

Negara/Lembaga/Model	Parameter Ketinggian Hilal (Alt.)	Parameter Elongasi (Elong.)	Parameter Usia Bulan (Age)	Konsep Matla' (Wilayah Pemberlakuan)	Landasan Utama
MABIMS (Baru)	$\geq 3^\circ$	$\geq 6.4^\circ$	-	Regional (Wilayatul Hukmi)	Kesepakatan MABIMS berdasarkan kajian ilmiah & data observasi ²⁸
Turki (Diyanet)	$\geq 5^\circ$	$\geq 8^\circ$	-	Global (Ittihadul Mathali')	Rekomendasi Konferensi Istanbul;

					Penelitian ²⁸
Mohammad Ilyas	Bervariasi (mis. $\Delta \text{Alt} \geq 4^\circ$)	Bervariasi	≥ 16.5 jam (tropis)	Global (ILDL)	Analisis visibilitas global berbasis data observasi ⁸
Arab Saudi (Rukyat Aktual)	Terlihat dengan mata	Terlihat dengan mata	-	Nasional (berpotensi regional)	Tradisi Rukyat; Kesaksian terverifikasi
Kalender Ummul Qura (Sipil Saudi)	Bulan terbenam setelah Matahari di Makkah	ijtimak sebelum Matahari terbenam di Makkah	-	Nasional (Sipil)	Hisab astronomis posisi Bulan relatif terhadap Matahari di Makkah

Perbedaan signifikan dalam parameter ketinggian dan elongasi, misalnya antara MABIMS dan kriteria Turki, mencerminkan perbedaan dalam pendekatan dan mungkin juga filosofi dasar. Kriteria MABIMS, dengan ambang batas yang relatif lebih rendah, mungkin lebih bertujuan untuk mengakomodasi kemungkinan rukyat pada batas-batas visibilitas awal, dengan mempertimbangkan kondisi geografis dan atmosferik di kawasan Asia Tenggara. Sebaliknya, kriteria yang lebih tinggi seperti yang diterapkan di Turki mungkin ditujukan untuk mencapai tingkat kepastian rukyat yang lebih besar atau untuk mendukung pemberlakuan konsep matlak global yang lebih luas, di mana hilal harus cukup jelas terlihat untuk dapat diterima secara universal sebagai penanda awal bulan.

Selain perbedaan dalam parameter numerik, konsep *matla'* (cakupan wilayah pemberlakuan hasil rukyat atau hisab) menjadi faktor pembeda yang krusial. Kriteria yang terikat pada *matla'* lokal atau regional, seperti yang umumnya dipahami dari praktik MABIMS, secara inheren akan menghasilkan potensi perbedaan kalender antar

wilayah global. Di sisi lain, kriteria yang mengadopsi *matla'* global, seperti yang diusung oleh otoritas Turki atau model ILDL Ilyas, bertujuan untuk mencapai unifikasi kalender Islam di seluruh dunia. Namun, implementasi *matla'* global ini juga menghadapi tantangan praktis yang tidak ringan, terutama terkait dengan perbedaan zona waktu yang signifikan antar benua dan mekanisme penyampaian informasi hasil rukyat secara cepat dan valid ke seluruh penjuru dunia sebelum waktu maghrib di wilayah masing-masing.⁴³ Ini adalah bagian dari diskursus klasik dalam fikih dan Astronomi yang terus mencari formulasi terbaik.

7.3.6 Analisis Kelebihan, Tantangan, dan Implikasi Penerapan Kriteria Imkanur Rukyat

Penerapan kriteria Imkanur Rukyat, khususnya yang distandardisasi oleh MABIMS, memiliki sejumlah kelebihan namun juga menghadapi tantangan dan membawa implikasi tertentu dalam konteks penentuan awal bulan Kamariyah.

- **Kelebihan Kriteria Imkanur Rukyat:**

1. **Menjembatani Hisab dan Rukyat:** Salah satu kelebihan utama adalah kemampuannya untuk berfungsi sebagai jembatan antara metode hisab (perhitungan astronomis) dan rukyat (observasi visual). Dengan menetapkan parameter astronomis minimal, Imkanur Rukyat memberikan landasan ilmiah bagi praktik rukyat, sehingga tidak semata-mata bergantung pada kesaksian subjektif.⁷
2. **Meningkatkan Objektivitas dan Kepastian:** Dibandingkan dengan rukyat murni yang sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, kualitas penglihatan pengamat, dan faktor lokasi, Imkanur Rukyat menawarkan tingkat objektivitas dan kepastian yang lebih tinggi karena didasarkan pada prediksi hisab yang akurat mengenai posisi dan kondisi hilal.⁴⁴
3. **Menyaring Laporan Rukyat yang Tidak Akurat:** Kriteria ini berfungsi sebagai filter untuk menolak laporan kesaksian melihat hilal yang secara astronomis tidak mungkin terjadi. Misalnya, jika hisab menunjukkan hilal masih di bawah ufuk atau elongasinya terlalu kecil, maka klaim melihat hilal dapat diragukan validitasnya.⁷
4. **Mendorong Penggunaan Teknologi dan Metodologi Ilmiah:** Penerapan Imkanur Rukyat mendorong penggunaan teknologi astronomi modern seperti teleskop, kamera CCD, dan perangkat lunak perhitungan falak dalam proses observasi dan verifikasi hilal. Hal ini sejalan dengan semangat pengembangan ilmu pengetahuan dalam Islam.²
5. **Dasar Unifikasi Regional:** Kriteria MABIMS, sebagai bentuk Imkanur Rukyat,

telah menjadi dasar bagi upaya unifikasi kalender Hijriah di tingkat regional Asia Tenggara, mengurangi potensi perbedaan antar negara anggota.⁷

- **Tantangan dalam Penerapan Kriteria Imkanur Rukyat:**

1. **Ketergantungan pada Rukyat Aktual (dalam beberapa interpretasi):** Meskipun didasarkan pada hisab, keputusan akhir dalam Sidang Isbat seringkali masih mempertimbangkan hasil rukyat aktual. Jika hilal secara hisab sudah memenuhi kriteria Imkanur Rukyat namun tidak ada laporan rukyat yang berhasil (misalnya karena cuaca buruk serentak di banyak lokasi), hal ini dapat menimbulkan dilema dalam pengambilan keputusan dan potensi perbedaan dengan kelompok yang berpegang pada hisab murni.⁴⁴
2. **Kompleksitas Parameter bagi Masyarakat Awam:** Parameter-parameter astronomis seperti ketinggian, elongasi, dan usia hilal mungkin sulit dipahami oleh masyarakat awam, sehingga sosialisasi dan edukasi publik menjadi tantangan tersendiri.
3. **Potensi Perbedaan dengan Kriteria Lain:** Kriteria Imkanur Rukyat, bahkan yang telah diperbarui (Neo-MABIMS 3-6.4), masih dapat menghasilkan perbedaan awal bulan jika dibandingkan dengan kriteria lain seperti Wujudul Hilal yang dianut Muhammadiyah, atau kriteria internasional lain yang memiliki ambang batas berbeda.³²
4. **Dinamika Implementasi di Tingkat Nasional:** Meskipun MABIMS adalah kesepakatan regional, implementasi dan penerimaan di tingkat nasional masing-masing negara anggota dapat menghadapi dinamika tersendiri, termasuk resistensi dari kelompok-kelompok yang memiliki pandangan atau tradisi berbeda.³⁰
5. **Belum Definitifnya Beberapa Aspek Teknis:** Beberapa kritik, seperti yang disampaikan oleh perwakilan Muhammadiyah, menyoroti belum definitifnya rumusan toposentrik versus geosentrik untuk parameter ketinggian dan elongasi, serta interpretasi marja' (rujukan) visibilitas hilal dalam konteks MABIMS, yang dapat menimbulkan perbedaan angka parameter dan tafsir.³²

- **Implikasi Penerapan Kriteria Imkanur Rukyat:**

1. **Mengurangi Subjektivitas Berlebihan:** Dengan adanya batasan ilmiah, kriteria ini membantu mengurangi unsur subjektivitas yang mungkin ada dalam laporan rukyat individual.
2. **Mendorong Profesionalisme Perukyat:** Kebutuhan untuk melakukan observasi yang akurat dan melaporkannya sesuai prosedur mendorong peningkatan kualitas dan profesionalisme para perukyat hilal.
3. **Memperkuat Peran Otoritas Keagamaan Pemerintah:** Di negara-negara

seperti Indonesia, penerapan Imkanur Rukyat melalui Sidang Isbat memperkuat peran pemerintah (Kementerian Agama) sebagai otoritas sentral dalam penetapan awal bulan Kamariyah untuk kepentingan publik.

4. **Tetap Membuka Ruang Diskursus Ilmiah:** Evolusi kriteria MABIMS menunjukkan bahwa ada ruang untuk perbaikan dan penyesuaian berdasarkan temuan ilmiah baru, sehingga diskursus dan penelitian dalam bidang Astronomi dan visibilitas hilal tetap relevan dan penting.
5. **Dampak terhadap Unifikasi Kalender:** Meskipun bertujuan untuk unifikasi, selama masih ada perbedaan kriteria yang signifikan dengan kelompok besar lainnya (seperti Muhammadiyah dengan Wujudul Hilal), unifikasi kalender Hijriah secara menyeluruh di tingkat nasional masih menjadi tantangan.

Secara keseluruhan, kriteria Imkanur Rukyat merupakan sebuah ijtihad penting dalam upaya menyelaraskan tuntunan syar'i dengan kemajuan ilmu pengetahuan astronomi. Meskipun memiliki kelebihan dalam meningkatkan objektivitas dan mengurangi perbedaan yang disebabkan oleh rukyat yang tidak terkontrol, penerapannya tetap menghadapi tantangan dan memerlukan dialog serta pengembangan berkelanjutan untuk mencapai tujuan ideal unifikasi kalender Islam.

7.4 Kriteria Wujudul Hilal (Muhammadiyah)

Kriteria Wujudul Hilal merupakan metode penetapan awal bulan Kamariyah yang secara konsisten dianut dan dipedomani oleh organisasi Islam Muhammadiyah di Indonesia. Pendekatan ini memiliki dasar filosofis, argumen syar'i, dan parameter astronomis yang khas, yang membedakannya dari kriteria Imkanur Rukyat.

7.4.1 Definisi, Prinsip Dasar, dan Parameter Kunci Kriteria Wujudul Hilal

Definisi Wujudul Hilal (وجود الهلال) secara harfiah berarti "adanya hilal" atau "terwujudnya hilal". Prinsip dasar dari kriteria ini adalah bahwa awal bulan Kamariyah baru dimulai apabila secara astronomis hilal telah ada (wujud) di atas ufuk pada saat matahari terbenam pada hari ke-29 bulan berjalan, setelah terjadinya ijtimak (konjungsi).¹⁰

Parameter kunci atau syarat-syarat kumulatif yang harus terpenuhi agar bulan baru dapat ditetapkan berdasarkan kriteria Wujudul Hilal menurut Pedoman Hisab Muhammadiyah adalah sebagai berikut:

1. **Telah terjadi ijtimak (konjungsi) antara Bulan dan Matahari.** Ijtimak adalah saat di mana posisi bujur ekliptika Bulan sama dengan bujur ekliptika Matahari, menandai fase bulan baru astronomis.

2. **ijtimak tersebut terjadi sebelum matahari terbenam (qabla ghurub).** Artinya, konjungsi harus sudah berlalu sebelum waktu maghrib pada hari ke-29 tersebut.
3. **Pada saat matahari terbenam (ghurubusy syams), piringan atas Bulan berada di atas ufuk hakiki (true horison).** Ini berarti posisi geometris Bulan, setelah memperhitungkan semua koreksi astronomis, menunjukkan bahwa Bulan belum terbenam bersamaan atau sebelum Matahari terbenam. Ketinggian hilal di atas ufuk bisa berapa saja, bahkan meskipun hanya $0,1^\circ$, selama sudah positif, maka hilal dianggap telah wujud [²⁰ (diasumsikan dari judul)].

Apabila ketiga syarat kumulatif ini terpenuhi pada hari ke-29 bulan berjalan, maka keesokan harinya ditetapkan sebagai tanggal 1 bulan Kamariyah yang baru. Jika salah satu saja dari ketiga syarat tersebut tidak terpenuhi (misalnya, ijtimak terjadi setelah matahari terbenam, atau pada saat matahari terbenam Bulan sudah berada di bawah ufuk), maka bulan berjalan akan dikenakan (istikmal) menjadi 30 hari, dan awal bulan baru jatuh pada hari lusa.⁴⁶

Penting untuk dicatat bahwa kriteria Wujudul Hilal tidak mensyaratkan hilal tersebut harus dapat terlihat (dirukyat) dengan mata telanjang ataupun dengan alat bantu optik. Fokus utamanya adalah pada keberadaan (eksistensi) astronomis hilal di atas ufuk pada saat-saat krusial tersebut. Kriteria ini didasarkan pada perhitungan (hisab) astronomis yang akurat untuk menentukan posisi Bulan dan Matahari.²⁰

7.4.2 Argumentasi Syar'i dan Ilmiah-Rasional Muhammadiyah dalam Penggunaan Kriteria Wujudul Hilal

Muhammadiyah mendasarkan penggunaan kriteria Wujudul Hilal pada kombinasi argumentasi syar'i (interpretasi terhadap Al-Qur'an dan Hadis) dan pertimbangan ilmiah-rasional, sebagaimana yang dirumuskan dan diputuskan oleh Majelis Tarjih dan Tajdid Pimpinan Pusat Muhammadiyah.

- **Argumentasi Syar'i:**

1. **Interpretasi terhadap Perintah Rukyat:** Muhammadiyah memahami bahwa perintah rukyat dalam hadis-hadis Nabi SAW (seperti "صُومُوا لِرُؤْيَيْهِ") bukanlah tujuan akhir (*maqashid syari'ah*), melainkan sarana (*wasilah*) untuk mengetahui masuknya awal bulan pada masa ketika ilmu hisab belum berkembang dan umat secara umum bersifat *ummi* (tidak pandai membaca, menulis, dan berhitung) [²¹ (diasumsikan dari judul), ²⁰]. Hadis

إِنَّا أُمَّةٌ أُمِّيَّةٌ، لَا نَكْتُبُ وَلَا نَحْسِبُ

(Sesungguhnya kami adalah umat yang ummi, kami tidak menulis dan tidak berhitung) sering dikutip untuk mendukung argumen ini.²¹

Dalam kaidah fikih, hukum bisa berubah mengikuti perubahan 'illah (alasan hukum). Ketika 'illah (kondisi ummi) tersebut hilang dengan berkembangnya ilmu hisab yang akurat, maka penggunaan hisab yang lebih pasti dianggap lebih utama.

2. **Spirit Al-Qur'an Mendorong Penggunaan Hisab:** Muhammadiyah merujuk pada ayat-ayat Al-Qur'an yang mengisyaratkan keteraturan dan perhitungan dalam peredaran benda-benda langit, seperti QS. Yunus (10): 5

لَتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابِ

- agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan) dan QS. Ar-Rahman (55): 5

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ

- Matahari dan bulan beredar menurut perhitungan).¹⁷

Ayat-ayat ini dipahami sebagai dorongan untuk menggunakan ilmu pengetahuan (hisab) dalam memahami dan memanfaatkan fenomena alam, termasuk untuk penentuan waktu.

3. **Makna "Syahida" dalam QS. Al-Baqarah (2): 185:** Kata

فَمَنْ شَهِدَ مِنْكُمُ الشَّهْرَ

(Barangsiapa di antara kamu menyaksikan bulan) tidak semata-mata diartikan sebagai melihat fisik hilal, tetapi dapat dipahami sebagai "mengetahui dengan pasti" atau "hadir pada" masuknya bulan baru, yang mana kepastian ini dapat diperoleh melalui hisab yang akurat.¹⁷

4. **Penafsiran "Faqduru Lahu":** Terhadap perintah فَاقْدُرُوا لَهُ (maka perkirakanlah/kadarkanlah) dalam hadis ketika hilal terhalang, Muhammadiyah menafsirkannya sebagai perintah untuk melakukan estimasi atau perhitungan, yang dalam konteks modern dapat diwujudkan melalui hisab astronomis.¹⁷

- **Argumentasi Ilmiah-Rasional:**

1. **Kepastian dan Prediktabilitas:** Hisab dengan kriteria Wujudul Hilal menawarkan kepastian dan kemampuan prediksi jangka panjang. Kalender

Hijriah dapat disusun bertahun-tahun ke depan dengan akurasi tinggi, memudahkan perencanaan berbagai kegiatan, termasuk ibadah dan administrasi.²⁰

2. **Objektivitas:** Hisab bersifat objektif dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca, atmosfer, atau subjektivitas pengamat, yang sering menjadi kendala dalam rukyatul hilal.¹⁰
3. **Potensi Unifikasi Global:** Muhammadiyah berpandangan bahwa hisab memiliki potensi lebih besar untuk menyatukan kalender Islam secara global dibandingkan rukyat yang bersifat lokal atau regional. Kriteria Wujudul Hilal, yang didasarkan pada fenomena astronomis universal (ijtimak dan posisi bulan relatif terhadap ufuk), dapat diterapkan secara konsisten di seluruh dunia.²¹ Ini tercermin dalam adopsi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) oleh Muhammadiyah yang juga berbasis hisab, meskipun dengan parameter yang mungkin berbeda untuk mencapai konsensus global.⁴⁴
4. **Menghindari Perselisihan Akibat Rukyat:** Ketergantungan pada rukyat seringkali menimbulkan perbedaan dan perselisihan, bahkan di satu negara, karena perbedaan laporan hasil observasi. Hisab Wujudul Hilal bertujuan untuk mengatasi masalah ini dengan menyediakan satu standar perhitungan yang jelas.²¹
5. **Relevansi dengan Kemajuan Sains:** Menggunakan hisab yang akurat dipandang sebagai bentuk pemanfaatan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IpTek) untuk kemaslahatan umat, yang sejalan dengan semangat Islam sebagai agama yang mendorong kemajuan.²⁰ Majelis Tarjih dan Tajdid Muhammadiyah memiliki divisi Hisab dan IpTek yang secara khusus mengkaji dan mengembangkan aspek ini.²⁰

Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah secara resmi telah mengukuhkan kriteria Wujudul Hilal sebagai metode penetapan awal bulan Kamariyah melalui berbagai Munas Tarjih, misalnya pada tahun 2000 dan 2003.²⁰ Keputusan ini bersifat mengikat bagi warga Muhammadiyah. Meskipun demikian, Muhammadiyah juga mengakui bahwa perbedaan metode dalam penentuan awal bulan adalah sebuah realitas ijthadiyah di kalangan umat Islam.²⁰

7.4.3 Perbandingan Detail Kriteria Wujudul Hilal dengan Imkanur Rukyat MABIMS

Perbandingan antara kriteria Wujudul Hilal yang dianut oleh Muhammadiyah dan kriteria Imkanur Rukyat yang diadopsi oleh MABIMS (dan diimplementasikan oleh Kementerian Agama RI) menunjukkan perbedaan fundamental dalam pendekatan,

parameter, dan implikasi terhadap penentuan awal bulan Kamariyah.

Tabel 7.2: Analisis Komparatif Kriteria Wujudul Hilal Muhammadiyah dan Imkanur Rukyat MABIMS (Neo-MABIMS 3-6.4)

Aspek Perbandingan	Kriteria Wujudul Hilal (Muhammadiyah)	Kriteria Imkanur Rukyat (MABIMS 3-6.4)
Definisi Operasional Awal Bulan	Awal bulan dimulai jika pada saat matahari terbenam tanggal 29, hilal secara astronomis sudah wujud (berada di atas ufuk) setelah ijtimak terjadi sebelum maghrib. ²⁰	Awal bulan dimulai jika pada saat matahari terbenam tanggal 29, hilal secara astronomis memenuhi syarat minimal ketinggian (3°) DAN elongasi (6.4°) yang memungkinkannya untuk dirukyat. ²⁸
Parameter Kunci	1. ijtimak telah terjadi. 2. ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam. 3. Bulan berada di atas ufuk hakiki saat matahari terbenam (ketinggian >0°). ²⁰	1. Ketinggian hilal (altitude) $\geq 3^\circ$. 2. Elongasi Bulan-Matahari $\geq 6.4^\circ$. (Kedua syarat harus terpenuhi kumulatif). ²⁹
Peran Rukyat (Observasi Visual)	Tidak menjadi syarat penentu. Penetapan didasarkan murni pada hasil hisab (perhitungan) posisi astronomis hilal. ²⁰	Rukyat aktual masih menjadi pertimbangan penting, seringkali sebagai konfirmasi atau penentu akhir dalam Sidang Isbat, meskipun hisab Imkanur Rukyat menjadi acuan. ²⁶
Landasan Syar'i Utama (Interpretasi)	Penekanan pada spirit Al-Qur'an tentang hisab (QS. Yunus:5, Ar-Rahman:5), rukyat sebagai <i>wasilah</i> yang relevan pada zaman Nabi karena kondisi <i>ummi</i> , dan <i>faqduru lahu</i> sebagai perintah	Penekanan pada perintah rukyat dalam Hadis ("صُومُوا" "الرُّؤْيَاهُ"), dengan hisab sebagai alat bantu untuk menentukan kemungkinan rukyat dan memvalidasi laporan kesaksian. ¹³

	estimasi/hisab. ¹⁷	
Landasan Ilmiah/Rasional	Kepastian, prediktabilitas, objektivitas hisab astronomis, potensi unifikasi global, dan pemanfaatan kemajuan sains. ²¹	Penggunaan parameter astronomis (tinggi, elongasi) berdasarkan data observasi global dan model visibilitas untuk meningkatkan probabilitas terlihatnya hilal secara fisik. ⁴
Implikasi terhadap Penentuan Awal Bulan	Cenderung menghasilkan penetapan awal bulan yang lebih awal jika hilal sudah di atas ufuk meskipun tipis dan rendah, karena tidak mensyaratkan keterlihatan fisik. ⁴⁵	Cenderung menghasilkan penetapan awal bulan yang sama atau lebih lambat dibandingkan Wujudul Hilal, karena mensyaratkan hilal tidak hanya wujud tetapi juga mencapai ambang batas visibilitas tertentu. ⁴⁵
Potensi Perbedaan Hasil dengan Metode Lain	Seringkali berbeda dengan hasil penetapan Kemenag RI (yang menggunakan Imkanur Rukyat), terutama jika hilal sudah wujud tetapi belum memenuhi kriteria Imkanur Rukyat. ⁴⁵	Dapat berbeda dengan Wujudul Hilal jika hilal wujud namun belum memenuhi 3-6.4. Juga bisa berbeda dengan rukyat murni jika hisab memenuhi 3-6.4 tetapi tidak ada laporan rukyat yang valid (misal karena cuaca). ⁴⁵

- **Analisis Perbedaan dan Implikasinya:**

1. **Fokus Utama:** Perbedaan paling mendasar terletak pada fokus utama masing-masing kriteria. Wujudul Hilal berfokus pada *eksistensi astronomis* hilal di atas ufuk sebagai penanda masuknya bulan baru. Selama tiga syarat geometris terpenuhi melalui perhitungan yang akurat, maka bulan baru dianggap telah dimulai, terlepas dari apakah hilal tersebut secara fisik dapat dilihat atau tidak. Sebaliknya, Imkanur Rukyat MABIMS berfokus pada *potensi visibilitas fisik* hilal. Meskipun menggunakan hisab untuk memprediksi posisi dan kondisi hilal, tujuannya adalah untuk menentukan apakah hilal tersebut sudah memenuhi ambang batas minimal yang memungkinkan untuk dapat diobservasi secara

visual.

2. **Peran Rukyat:** Dalam Wujudul Hilal, rukyat tidak lagi menjadi faktor penentu dalam penetapan awal bulan; hisab hakiki dianggap telah mencukupi. Sementara dalam kerangka Imkanur Rukyat yang diterapkan Kemenag, laporan hasil rukyat dari berbagai lokasi masih menjadi salah satu komponen penting yang dipertimbangkan dalam Sidang Isbat, setidaknya sebagai upaya konfirmasi terhadap prediksi hisab.
3. **Konsekuensi terhadap Awal Bulan:** Perbedaan pendekatan ini secara langsung berimplikasi pada penetapan tanggal awal bulan. Sangat mungkin terjadi situasi di mana menurut perhitungan Wujudul Hilal, hilal sudah berada di atas ufuk (misalnya dengan ketinggian 1° dan elongasi 5°), sehingga Muhammadiyah akan menetapkan awal bulan keesokan harinya. Namun, pada kondisi yang sama, kriteria Imkanur Rukyat MABIMS (3-6.4) belum terpenuhi, sehingga pemerintah (Kemenag) kemungkinan akan menetapkan awal bulan satu hari lebih lambat (melalui istikmal), terutama jika tidak ada laporan rukyat yang meyakinkan. Hal ini menjelaskan mengapa sering terjadi perbedaan awal Ramadhan, Idul Fitri, dan Idul Adha di Indonesia.²²
4. **Kepastian vs. Fleksibilitas Observasional:** Wujudul Hilal menawarkan kepastian tanggal yang dapat dihitung jauh hari sebelumnya, memungkinkan penyusunan kalender jangka panjang. Imkanur Rukyat, meskipun juga menggunakan hisab untuk prediksi, masih menyisakan elemen ketidakpastian hingga adanya konfirmasi rukyat atau keputusan Sidang Isbat, yang baru dilakukan pada H-1.
5. **Unifikasi Kalender:** Kedua kriteria ini, dengan perbedaan fundamentalnya, menjadi salah satu tantangan utama dalam upaya unifikasi kalender Hijriah di Indonesia. Selama perbedaan kriteria ini masih ada dan dipegang teguh oleh kelompok-kelompok besar umat Islam, unifikasi internal akan sulit tercapai. Muhammadiyah sendiri, dalam perkembangan terbarunya, telah memutuskan untuk mengadopsi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) yang juga berbasis hisab dengan kriteria Imkanur Rukyat tertentu untuk skala global, sebagai upaya mencari solusi unifikasi yang lebih luas, meskipun implementasinya masih direncanakan untuk masa mendatang.⁴⁴

Implikasi dari perbedaan ini tidak hanya bersifat teknis-astronomis, tetapi juga sosial-keagamaan. Perbedaan dalam memulai dan mengakhiri ibadah puasa, serta perayaan hari raya, dapat menimbulkan kebingungan dan keresahan di tengah masyarakat.¹ Oleh karena itu, dialog dan pemahaman yang mendalam terhadap landasan masing-masing kriteria menjadi sangat penting.

7.4.4 Kriteria Hilal Organisasi Islam Lain di Indonesia

Selain Muhammadiyah dan Pemerintah (yang mengacu pada MABIMS), organisasi Islam lain di Indonesia juga memiliki pendekatan tersendiri dalam penetapan awal bulan Kamariyah, meskipun mungkin tidak sebesar skala pengaruh kedua entitas tersebut. Salah satu contoh yang cukup menonjol adalah Persatuan Islam (PERSIS).

PERSIS, dalam sejarahnya, telah mengalami beberapa kali perubahan dalam kriteria hisab yang digunakannya. Berdasarkan informasi yang tersedia, PERSIS menempatkan diri pada penggunaan metode hisab dalam penetapan awal bulan Kamariyah. Kriteria hisab yang pernah digunakan meliputi:

1. **ijtimak Qablal Ghurub (ijtimak Sebelum Matahari Terbenam):** Digunakan dari sekitar tahun 1960 hingga 1995. Kriteria ini mensyaratkan bahwa ijtimak harus sudah terjadi sebelum matahari terbenam untuk menandai masuknya awal bulan.¹⁸
2. **Wujudul Hilal:** Digunakan dari tahun 1996 hingga 2001. Parameter yang dihitung adalah ijtimak sebelum matahari terbenam, matahari terbenam lebih dahulu daripada bulan, dan posisi bulan saat matahari terbenam berada di atas ufuk (ketinggian positif).¹⁸ Kriteria ini mirip dengan yang digunakan Muhammadiyah.
3. **Imkanur Rukyat:** Sejak tahun 2002, PERSIS beralih menggunakan kriteria Imkanur Rukyat. Awalnya, mungkin merujuk pada kriteria MABIMS yang berlaku saat itu (2-3-8).²² Kemudian, sejak tahun 2013-2014, PERSIS menggunakan kriteria Imkanur Rukyat versi ahli astronomi, dan mulai tahun 2015 hingga saat ini, menggunakan kriteria Imkanur Rukyat versi ahli astronomi dengan menggunakan perangkat lunak "Hisab Astronomis Persis".¹⁸

Kriteria Imkanur Rukyat yang digunakan PERSIS saat ini (sejak 2015) didasarkan pada perhitungan astronomis yang detail dengan variabel-variabel berikut:

- ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam.
- Matahari terbenam lebih dahulu daripada bulan.
- Posisi bulan saat matahari terbenam berada di atas ufuk.
- Cahaya sabit bulan sudah memungkinkan untuk dapat dilihat (memenuhi kriteria visibilitas tertentu yang dirumuskan oleh ahli astronomi PERSIS).¹⁸

Justifikasi PERSIS dalam menggunakan metode hisab dengan kriteria Imkanur Rukyat adalah:

- **Hisab berasal dari Rukyat:** Perhitungan astronomis (hisab) pada dasarnya adalah

hasil dari observasi (rukyat) jangka panjang yang telah terakumulasi selama beratus-ratus tahun, yang memungkinkan pergerakan benda langit diprediksi dengan akurat.

- **Kriteria Imkanur Rukyat Dinamis:** Kriteria ini dianggap dinamis dan akan terus berkembang sesuai dengan data pengamatan (rukyat/observasi) terbaru.
- **Peran Rukyat untuk Konfirmasi dan Rekor Baru:** Meskipun utama menggunakan hisab, rukyat tetap diperlukan jika di penghujung bulan secara hisab hilal belum memenuhi kriteria Imkanur Rukyat PERSIS. Rukyat dalam kondisi ini bertujuan untuk mengkonfirmasi apakah ada laporan rekor baru keterlihatan hilal yang mungkin dapat memperbarui kriteria yang ada.¹⁸

PERSIS juga memiliki persyaratan ketat untuk penerimaan laporan rukyatul hilal, yaitu laporan harus berasal lebih dari satu lokasi dan harus diverifikasi dengan citra visual hilal.¹⁸ Jika hasil hisab telah memenuhi kriteria Imkanur Rukyat Astronomis PERSIS, maka awal bulan ditetapkan tanpa menunggu laporan rukyat. Namun, jika hasil hisab sedikit di bawah kriteria, laporan rukyat menjadi penting untuk verifikasi.¹⁸

Perbandingan dengan MABIMS (3-6.4): Kriteria Imkanur Rukyat yang dirumuskan secara internal oleh ahli astronomi PERSIS mungkin memiliki parameter spesifik (nilai ketinggian dan elongasi) yang bisa jadi berbeda dengan kriteria Neo-MABIMS (3° ketinggian dan 6.4° elongasi). Dokumen yang tersedia tidak secara eksplisit menyebutkan nilai numerik pasti untuk kriteria PERSIS saat ini, namun menekankan pada "Imkanur Rukyat versi ahli astronomi" yang diproses melalui software internal mereka.²⁸ dan ⁵⁶ menyebutkan bahwa kriteria yang diadopsi PERSIS (sejak 2013/LAPAN) adalah tinggi hilal 3° dan elongasi 6.4°, yang kini sama dengan kriteria Neo-MABIMS. Jika ini masih berlaku, maka secara parameter, kriteria PERSIS akan sejalan dengan kriteria pemerintah saat ini.

Organisasi Islam lain seperti Nahdlatul Ulama (NU) secara konsisten berpegang pada metode rukyatul hilal bil fi'li (melihat hilal secara langsung) pada tanggal 29 setiap bulannya, dengan hisab sebagai alat bantu untuk memprediksi posisi hilal dan mendukung pelaksanaan rukyat. Jika hilal tidak terlihat, maka bulan berjalan digenapkan menjadi 30 hari (istikmal).²² Al-Irsyad Al-Islamiyyah juga berpedoman pada rukyat, dengan hisab sebagai alat bantu.⁴⁵ Al-Jam'iyatul Washliyah juga menggunakan rukyat tetapi dengan kriteria yang mungkin berbeda, merujuk pada lokakarya Cisarua Bogor 2011.⁴⁵

Keragaman pendekatan ini menunjukkan kompleksitas upaya unifikasi kalender Hijriah

di Indonesia, di mana setiap organisasi memiliki landasan ijtihad dan pertimbangan ilmiahnya masing-masing.

7.5 Parameter Penting untuk Visibilitas Hilal dan Perhitungannya

Visibilitas atau kenampakan hilal, yaitu bulan sabit muda pertama setelah ijtima, dipengaruhi oleh serangkaian parameter astronomis yang kompleks serta faktor-faktor non-astronomis. Pemahaman mendalam terhadap parameter-parameter ini krusial untuk melakukan perhitungan (hisab) posisi hilal secara akurat dan memprediksi kemungkinannya untuk dapat diobservasi.

7.5.1 Ketinggian Hilal (Moon's Altitude)

Ketinggian hilal (sering dilambangkan dengan h atau Alt) adalah jarak sudut vertikal Bulan di atas ufuk (horison) pengamat pada saat matahari terbenam (untuk observasi hilal petang).³⁶ Parameter ini sangat fundamental karena beberapa alasan:

1. **Kontras dengan Langit Senja:** Sesaat setelah matahari terbenam, langit di ufuk barat masih terang akibat cahaya senja (syafak). Hilal yang terlalu rendah akan sulit dibedakan dari terangnya cahaya latar belakang ini. Semakin tinggi posisi hilal, semakin besar kemungkinannya berada di bagian langit yang relatif lebih gelap, sehingga kontrasnya meningkat dan lebih mudah terlihat.⁴
2. **Pengaruh Ekstingsi Atmosfer:** Cahaya dari benda langit yang melewati atmosfer Bumi akan mengalami pelemahan (ekstingsi) akibat serapan dan hamburan. Efek ekstingsi ini paling signifikan terjadi di dekat ufuk, di mana lapisan atmosfer yang harus dilalui cahaya lebih tebal. Hilal yang berada pada ketinggian yang lebih tinggi akan mengalami ekstingsi yang lebih kecil, sehingga tampak lebih terang.¹²
3. **Durasi di Atas Ufuk:** Ketinggian hilal saat matahari terbenam juga berkorelasi dengan berapa lama hilal akan berada di atas ufuk sebelum ia terbenam (lihat Lag Time). Semakin tinggi posisinya, umumnya semakin lama ia akan terlihat.

Ketinggian hilal dihitung berdasarkan koordinat horisontal Bulan pada waktu spesifik (biasanya saat matahari terbenam). Perhitungan ini melibatkan transformasi dari sistem koordinat ekuatorial (asensio rekta dan deklinasi Bulan) ke sistem koordinat horisontal (azimut dan altitude) untuk lokasi geografis pengamat tertentu. Kriteria Imkanur Rukyat MABIMS menetapkan ketinggian hilal minimal 3° .³¹

7.5.2 Beda Azimut Matahari-Bulan (Moon's Azimut vs Sun's Azimut / DAZ)

Beda azimut (sering disingkat DAZ atau ΔAz) adalah perbedaan sudut horisontal antara posisi Matahari dan posisi Bulan di sepanjang garis ufuk, diukur pada saat matahari terbenam.³⁶ Azimut adalah arah kompas suatu benda langit, biasanya diukur dari titik Utara ke arah Timur. Parameter DAZ penting karena:

1. **Posisi Relatif di Langit:** DAZ memberikan informasi mengenai seberapa jauh Bulan terpisah dari Matahari secara horisontal. Jika DAZ terlalu kecil, Bulan akan sangat dekat dengan posisi terbenamnya Matahari, membuatnya sulit diobservasi karena silau cahaya Matahari yang masih kuat dan kontras yang rendah.
2. **Bentuk Sabit dan Orientasi:** Kombinasi DAZ dengan beda ketinggian (ARCV) mempengaruhi orientasi sabit hilal di langit.
3. **Kriteria Visibilitas:** Beberapa model prediksi visibilitas hilal, seperti model Maunder dan SAAO (South African Astronomical Observatory), menggunakan DAZ sebagai salah satu variabel input bersama dengan beda ketinggian (ARCV) untuk menentukan kemungkinan terlihatnya hilal.³⁶

Secara umum, nilai DAZ yang lebih besar (hingga batas tertentu) dapat berkontribusi pada visibilitas yang lebih baik, terutama jika dikombinasikan dengan ketinggian hilal yang memadai.

7.5.3 Elongasi Bulan-Matahari (Elongation / ARCL)

Elongasi, atau Arc of Light (ARCL), adalah jarak sudut antara pusat Bulan dan pusat Matahari, sebagaimana terlihat dari pusat Bumi (geosentris) atau dari lokasi pengamat di permukaan Bumi (toposentris).³⁶ Elongasi merupakan parameter kunci karena secara langsung menentukan iluminasi atau fraksi bagian Bulan yang tersinari Matahari dan menghadap ke Bumi, yang pada gilirannya menentukan lebar dan kecerahan sabit hilal.

1. **Lebar dan Kecerahan Sabit:** Semakin besar elongasi, semakin besar persentase permukaan Bulan yang tampak bercahaya dari Bumi, sehingga sabit hilal akan tampak lebih lebar dan lebih terang. Rumus umum untuk fraksi iluminasi (k) adalah $k = (1 - \cos(E))/2$, di mana E adalah elongasi.
2. **Batas Minimal Visibilitas:** Ada batas minimal elongasi agar sabit hilal dapat terbentuk secara fisik dan memiliki kecerahan yang cukup untuk dapat dilihat. Batas Danjon, misalnya, mengemukakan bahwa hilal tidak akan terbentuk jika elongasi kurang dari sekitar 5° hingga 7° .³⁸ Kriteria baru MABIMS menetapkan elongasi minimal 6.4° .³¹
3. **Faktor Variabilitas:** Besarnya elongasi pada usia Bulan tertentu (misalnya 24 jam setelah ijtimak) dapat bervariasi akibat beberapa faktor, termasuk elongasi Bulan saat ijtimak (tidak selalu 0°), kecepatan orbit Bulan yang bervariasi (lebih cepat di

perigee, lebih lambat di apogee), dan jarak Bulan dari Bumi.⁵⁸

Elongasi dihitung menggunakan koordinat ekuatorial atau ekliptika Matahari dan Bulan.

7.5.4 Usia Hilal (Moon's Age)

Usia hilal adalah selang waktu yang telah berlalu sejak momen ijtimak (konjungsi geosentris) hingga waktu pengamatan hilal (biasanya saat matahari terbenam).³⁶ Usia hilal seringkali dinyatakan dalam satuan jam.

1. **Indikator Kasar Visibilitas:** Secara umum, semakin tua usia hilal, semakin besar elongasinya, semakin lebar sabitnya, dan semakin tinggi posisinya di atas ufuk, sehingga probabilitas untuk terlihat semakin besar. Kriteria MABIMS lama menyertakan usia minimal 8 jam.²⁹
2. **Bukan Parameter Tunggal yang Andal:** Meskipun sering digunakan sebagai indikator awal, usia hilal sendiri bukanlah parameter tunggal yang andal untuk memprediksi visibilitas. Hilal dengan usia yang sama dapat memiliki kondisi visibilitas yang berbeda karena faktor-faktor lain seperti kecepatan orbit Bulan, jarak Bulan-Bumi, dan kemiringan orbit Bulan terhadap ekliptika tidak diperhitungkan secara langsung oleh parameter usia saja.³⁶ Sebagai contoh, hilal berusia 15 jam mungkin lebih mudah terlihat daripada hilal berusia 18 jam jika pada kasus pertama Bulan berada dekat perigee dan memiliki separasi sudut yang lebih besar dari Matahari.
3. **Rekor Observasi:** Observasi hilal termuda yang pernah tercatat dengan mata telanjang adalah sekitar 15.5 jam, dan dengan bantuan teleskop sekitar 12.1 jam.⁵⁸

7.5.5 Lebar Sabit Hilal (Crescent Width / W)

Lebar sabit hilal (Crescent Width, sering dilambangkan dengan W) adalah ukuran sudut dari bagian Bulan yang tersinari Matahari, diukur tegak lurus terhadap sumbu panjang sabit tersebut.³⁶ Lebar sabit ini merupakan indikator yang lebih baik untuk kecerahan intrinsik hilal dibandingkan hanya usia atau elongasi saja.

1. **Korelasi dengan Kecerahan:** Semakin lebar sabit hilal, semakin banyak cahaya Matahari yang dipantulkannya ke arah Bumi, sehingga sabit tampak lebih terang dan lebih mudah dideteksi.
2. **Parameter Kunci dalam Model Visibilitas:** Beberapa model prediksi visibilitas modern, seperti model Odeh, menggunakan lebar sabit (seringkali dikombinasikan dengan beda tinggi Bulan-Matahari atau ARCV) sebagai salah satu parameter utamanya.³⁶

3. **Variabilitas:** Lebar sabit tidak hanya bergantung pada elongasi, tetapi juga pada jarak Bulan dari Bumi. Pada elongasi yang sama, sabit akan tampak lebih lebar jika Bulan berada lebih dekat ke Bumi (perigee) dan lebih sempit jika berada lebih jauh (apogee).³⁶

Perhitungan lebar sabit melibatkan parameter iluminasi Bulan dan jaraknya dari Bumi.

7.5.6 Selisih Waktu Terbenam Matahari-Bulan (Lag Time / Mukutsul Hilal)

Lag time, atau dalam tradisi Astronomi di Indonesia sering disebut *mukutsul hilal*, adalah selisih waktu antara saat matahari terbenam (ghurub) dengan saat bulan terbenam (moonset).³⁶

1. **Durasi Kesempatan Observasi:** Lag time secara langsung menunjukkan berapa lama hilal akan berada di atas ufuk setelah matahari terbenam. Semakin lama lag time, semakin panjang durasi kesempatan bagi pengamat untuk mencari dan mengobservasi hilal di langit yang berangsur-angsur menjadi lebih gelap.
2. **Korelasi dengan Parameter Lain:** Umumnya, lag time yang lebih panjang berkorelasi dengan ketinggian hilal yang lebih tinggi dan elongasi yang lebih besar, yang keduanya meningkatkan probabilitas visibilitas. Kriteria Babilonia kuno mensyaratkan lag time lebih dari 48 menit untuk visibilitas dengan mata telanjang.³⁶
3. **Pengaruh Lintang Geografis:** Pada elongasi yang sama, lag time dapat bervariasi tergantung pada lintang geografis pengamat. Di lintang tinggi, jalur terbenam Bulan dan Matahari lebih landai terhadap ufuk, yang dapat menghasilkan lag time yang lebih panjang dibandingkan di daerah ekuator untuk kondisi elongasi yang identik.⁵⁷

Perhitungan lag time memerlukan data waktu terbenam Matahari dan waktu terbenam Bulan yang akurat untuk lokasi dan tanggal pengamatan tertentu.

7.5.7 Faktor-faktor Non-Astronomis yang Mempengaruhi Visibilitas

Selain parameter-parameter astronomis geometris di atas, keberhasilan pengamatan hilal juga sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor non-astronomis:

- **Kondisi Atmosfer:**
 - **Kejernihan dan Transparansi (Clarity and Transparency):** Atmosfer yang bersih dan jernih, bebas dari awan, kabut, debu, asap, atau polutan lainnya, sangat esensial. Hilal yang sangat tipis dan redup cahayanya dapat dengan mudah terhalang atau diserap oleh partikel-partikel di atmosfer. Bahkan awan tipis (cirrus) pun dapat menyulitkan pengamatan.¹² Tingkat transmitans

atmosfer yang tinggi (mendekati 1) menunjukkan kondisi yang baik.

- **Turbulensi Atmosfer (Astronomical Seeing):** Goyangan atau ketidakstabilan udara di atmosfer dapat menyebabkan citra hilal tampak kabur, berkedip, atau terdistorsi, sehingga sulit untuk dikenali. Kondisi seeing yang buruk akan mempersulit deteksi sabit yang tipis.
- **Polusi Cahaya (Light Pollution):** Cahaya buatan dari perkotaan atau area industri dapat meningkatkan kecerahan langit malam secara keseluruhan, mengurangi kontras antara hilal yang redup dengan latar belakang langit. Observasi hilal idealnya dilakukan di lokasi yang jauh dari sumber polusi cahaya.¹²
- **Lokasi Geografis Pengamat:**
 - **Lintang Geografis (Latitude):** Lintang tempat pengamat mempengaruhi sudut kemiringan ekliptika terhadap horison. Di lintang menengah belahan Bumi utara, misalnya, pada bulan-bulan sekitar ekuinoks musim semi, ekliptika membentuk sudut yang curam dengan ufuk barat saat senja. Ini menyebabkan Bulan (yang lintasannya dekat ekliptika) memiliki altitude yang relatif lebih tinggi untuk elongasi tertentu, sehingga lebih mudah terlihat.⁵⁸ Sebaliknya, di lintang tinggi, jalur Bulan bisa sangat landai.
 - **Bujur Geografis (Longitude):** Bujur menentukan zona waktu lokal dan kapan matahari terbenam. Lokasi yang lebih ke barat umumnya memiliki kesempatan melihat hilal lebih baik pada hari yang sama karena Bulan memiliki lebih banyak waktu untuk menjauh dari Matahari setelah ijtimak.
 - **Ketinggian Lokasi di Atas Permukaan Laut (Elevation):** Lokasi pengamatan yang lebih tinggi, seperti di puncak gunung, dapat mengurangi efek negatif dari lapisan atmosfer bawah yang lebih tebal dan berpolusi, serta kabut atau awan rendah, sehingga memberikan kondisi langit yang lebih jernih dan transparan.¹²
- **Kualitas Visual Pengamat dan Penggunaan Alat Bantu Optik:**
 - **Ketajaman Visual Pengamat (Visual Acuity):** Kemampuan mata setiap individu untuk mendeteksi objek yang kecil atau redup bervariasi. Pengamat dengan ketajaman visual yang baik dan mata yang sudah beradaptasi dengan kegelapan (dark adaptation) memiliki peluang lebih besar untuk melihat hilal tipis.¹² Pengalaman dan pelatihan juga memainkan peran penting dalam mengenali bentuk hilal yang samar.
 - **Penggunaan Alat Bantu Optik (Teleskop, Binokular):** Alat bantu optik seperti binokular atau teleskop dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan untuk melihat hilal. Alat ini mengumpulkan lebih banyak cahaya

dan memberikan perbesaran, sehingga sabit yang sangat tipis dan redup yang mungkin tidak terlihat dengan mata telanjang dapat terdeteksi.² Kriteria visibilitas seringkali dibedakan antara pengamatan dengan mata telanjang dan dengan alat bantu.

Pemahaman dan perhitungan yang cermat terhadap semua parameter astronomis ini, ditambah dengan pertimbangan faktor-faktor non-astronomis, menjadi dasar bagi model-model prediksi visibilitas hilal yang lebih akurat.

7.5.8 Model-model Prediksi Visibilitas Hilal Populer: Prinsip dan Parameter

Untuk memprediksi kemungkinan terlihatnya hilal, para astronom dan ahli falak telah mengembangkan berbagai model matematis dan empiris. Model-model ini umumnya menggunakan kombinasi parameter-parameter astronomis yang telah dibahas sebelumnya. Berikut adalah beberapa model prediksi visibilitas hilal yang populer:

1. Batas Danjon (Danjon Limit):

- **Prinsip Dasar:** Dikemukakan oleh astronom Prancis André Danjon pada tahun 1930-an, Batas Danjon menyatakan bahwa hilal secara fisik tidak akan terbentuk atau tidak akan dapat terlihat jika elongasi (jarak sudut) antara Bulan dan Matahari kurang dari batas minimal tertentu. Danjon awalnya mengusulkan batas ini sekitar 7° .³⁹ Ia berteori bahwa pada elongasi yang sangat kecil, bayangan pegunungan di tepi Bulan akan menutupi bagian sabit yang seharusnya sudah mulai tersinari Matahari.
- **Parameter Utama:** Elongasi Bulan-Matahari.
- **Signifikansi:** Batas Danjon memberikan batas bawah teoretis untuk visibilitas hilal. Jika elongasi berada di bawah batas ini, maka hilal dianggap tidak mungkin terlihat, terlepas dari kondisi atmosfer atau alat bantu yang digunakan. Penelitian lebih modern dan data observasi yang lebih banyak menunjukkan bahwa batas ini mungkin lebih rendah, sekitar 5° hingga 6.5° .³⁶ Kriteria elongasi 6.4° MABIMS dekat dengan batas ini.

2. Model Mohammad Ilyas:

- **Prinsip Dasar:** Mohammad Ilyas, seorang ilmuwan Muslim dari Malaysia, melakukan studi ekstensif mengenai visibilitas hilal global. Modelnya menekankan pada kombinasi beberapa parameter dan memperkenalkan konsep Garis Tanggal Bulan Internasional (ILDL) untuk memetakan zona visibilitas global.⁸ Karyanya, "A Modern Guide to Astronomical Calculations of Islamic Calendar, Times and Qibla" (1984), menjadi rujukan penting.
- **Parameter Utama:** Model Ilyas umumnya menggunakan parameter seperti

beda tinggi Bulan-Matahari (ARCV), elongasi (ARCL), usia hilal, dan lag time. Salah satu formulasi yang dikenal adalah kriteria yang mensyaratkan beda tinggi Bulan-Matahari minimal 4° (jika beda azimut $>45^\circ$) atau $>10.5^\circ$ (jika beda azimut 0°), waktu terbenam Bulan minimal 41 menit setelah Matahari, dan usia hilal lebih dari 16.5 jam untuk daerah tropis.⁸ Ilyas juga merevisi Batas Danjon ke nilai yang lebih tinggi, sekitar 10.5° berdasarkan interpretasinya.⁴¹

- **Kelebihan dan Keterbatasan:** Model Ilyas memberikan kontribusi signifikan dalam pemahaman visibilitas hilal skala global dan upaya unifikasi kalender. Namun, beberapa asumsi dan revisinya terhadap Batas Danjon menjadi subjek diskusi di kalangan peneliti lain.

3. Model Bernard Yallop:

- **Prinsip Dasar:** Dikembangkan oleh Bernard Yallop dari HM Nautical Almanac Office (Inggris) pada tahun 1997, model ini menggunakan pendekatan empiris berdasarkan analisis statistik dari sekitar 300 data observasi hilal (berhasil maupun gagal).⁴² Model Yallop menghitung sebuah parameter uji visibilitas, q .
- **Parameter Utama:** Parameter q dihitung berdasarkan beda tinggi geosentris antara pusat Matahari dan pusat Bulan (ARCV, tidak dikoreksi refraksi dan paralaks) pada "waktu terbaik" pengamatan, dan lebar sabit topografis Bulan (W). Waktu terbaik pengamatan diestimasi sekitar pertengahan antara waktu matahari terbenam dan bulan terbenam, atau secara lebih spesifik, ketika Matahari berada $4/9 \times (\text{lag time})$ di bawah ufuk.⁶⁷
- **Kriteria Visibilitas Yallop (berdasarkan nilai q):**
 - $q > +0.216$: Mudah terlihat dengan mata telanjang (Zona A).
 - $-0.014 < q \leq +0.216$: Terlihat dengan mata telanjang dalam kondisi atmosfer sempurna (Zona B).
 - $-0.160 < q \leq -0.014$: Perlu alat bantu optik untuk menemukan sabit sebelum terlihat dengan mata telanjang (Zona C).
 - $-0.232 < q \leq -0.160$: Hanya terlihat dengan binokular atau teleskop konvensional (Zona D).
 - $-0.293 < q \leq -0.232$: Tidak terlihat dengan teleskop konvensional (Zona E).
 - $q \leq -0.293$: Di bawah Batas Danjon (7° versi Yallop) (Zona F).⁶⁷
- **Signifikansi:** Model Yallop menjadi salah satu model yang paling banyak dirujuk dan digunakan secara internasional untuk prediksi visibilitas hilal karena pendekatannya yang berbasis data dan menghasilkan peta visibilitas global.

4. Model Mohammad Odeh:

- **Prinsip Dasar:** Mohammad Odeh, pendiri Islamic Crescent Observation Project (ICOP), mengembangkan kriteria visibilitas hilal berdasarkan analisis

database yang jauh lebih besar, yaitu 737 data observasi.³⁶ Modelnya juga bersifat empiris dan bertujuan untuk memprediksi kemungkinan terlihatnya hilal baik dengan mata telanjang maupun dengan alat bantu optik.

- **Parameter Utama:** Model Odeh menggunakan dua variabel utama: beda tinggi Bulan-Matahari topografis tanpa refraksi (ARCV) dan lebar sabit topografis Bulan (W).³⁶ Berdasarkan kombinasi nilai ARCV dan W, Odeh mendefinisikan beberapa zona visibilitas. Sebuah parameter V dihitung dari ARCV dan W menggunakan rumus:

$$V = \text{ARCV} - (-0.1018W^3 + 0.7319W^2 - 6.3226W + 7.1651).^{36}$$

- **Kriteria Visibilitas Odeh (berdasarkan nilai V):**
 - $V \geq 5.65$: Terlihat dengan mata telanjang (Zona A).
 - $2 < V < 5.65$: Mungkin terlihat dengan mata telanjang dalam kondisi baik, atau mudah terlihat dengan alat optik (Zona B).
 - $-0.96 < V \leq 2$: Hanya terlihat dengan alat optik (Zona C).
 - $V \leq -0.96$: Tidak terlihat bahkan dengan alat optik (Zona D).³⁶
- **Signifikansi:** Model Odeh saat ini dianggap sebagai salah satu model prediksi visibilitas hilal yang paling akurat dan komprehensif karena didasarkan pada kumpulan data observasi yang sangat besar dan terus diperbarui. Elongasi minimal 6.4° yang diadopsi MABIMS merujuk pada temuan dari data yang dianalisis Odeh, di mana pada elongasi tersebut hilal mulai mungkin terdeteksi dengan alat bantu.³⁶

Pemilihan model prediksi visibilitas hilal seringkali bergantung pada kebutuhan, tingkat akurasi yang diinginkan, dan ketersediaan data input. Model-model ini terus mengalami penyempurnaan seiring dengan bertambahnya data observasi dan kemajuan dalam pemahaman fisika atmosfer serta proses visual manusia.

Tabel 7.3 Ringkasan Model Prediksi Visibilitas Hilal Terkemuka

Nama Model	Parameter Utama yang Digunakan	Prinsip Dasar Model	Kelebihan dan Keterbatasan
Batas Danjon	Elongasi Bulan-Matahari	Batas fisis minimal terbentuknya sabit hilal akibat efek bayangan pegunungan Bulan. ³⁹	Memberikan batas bawah teoretis. Nilai batasnya bervariasi dalam penelitian (5° – 7°). Tidak memperhitungkan

			faktor atmosfer atau pengamat. ³⁹
Model Ilyas	ARCV, ARCL, Usia Hilal, Lag Time, Konsep ILDL	Analisis visibilitas global dengan pembagian zona berdasarkan parameter gabungan. ⁸	Komprehensif untuk skala global, memperkenalkan ILDL. Beberapa asumsi (mis. revisi Batas Danjon) menjadi bahan diskusi. ⁴²
Model Yallop	Parameter q (fungsi dari ARCV geosentris dan Lebar Sabit W topografis)	Empiris-statistik berdasarkan ~300 data observasi. Menghitung probabilitas visibilitas dalam beberapa kategori. ⁴²	Banyak digunakan, menghasilkan peta visibilitas global. Ketergantungan pada "waktu terbaik" dan ARCV geosentris bisa menjadi batasan. ⁶⁷
Model Odeh	ARCV topografis dan Lebar Sabit W topografis (menghasilkan parameter V)	Empiris-statistik berdasarkan >700 data observasi (ICOP). Mendefinisikan zona visibilitas untuk mata telanjang dan alat optik. ³⁶	Dianggap sangat akurat karena basis data besar dan terus diperbarui. Menjadi rujukan bagi kriteria MABIMS baru. ³⁶

7.6 Sintesis dan Arah ke Depan

Pembahasan mengenai kriteria visibilitas hilal, mulai dari landasan syar'i hingga parameter astronomis dan model-model prediksinya, menunjukkan sebuah bidang kajian yang kompleks dan dinamis. Beberapa poin sintesis utama dapat ditarik, sekaligus mengidentifikasi tantangan dan prospek di masa depan, khususnya dalam konteks unifikasi kalender Hijriah.

- Rangkuman Perbandingan Utama Antar Kriteria:
Dua pendekatan utama yang dominan dalam penetapan awal bulan Kamariyah di Indonesia, yaitu Imkanur Rukyat (yang diadopsi MABIMS dan Kementerian Agama

RI) dan Wujudul Hilal (yang dipegang oleh Muhammadiyah), memiliki perbedaan fundamental. Imkanur Rukyat menekankan pada kemungkinan terlihatnya hilal secara fisik, dengan menetapkan ambang batas minimal untuk parameter astronomis seperti ketinggian (3°) dan elongasi (6.4°) berdasarkan analisis data observasi global. Meskipun berbasis hisab, konfirmasi melalui rukyat aktual seringkali masih menjadi bagian dari proses penetapan resmi. Di sisi lain, Wujudul Hilal berfokus pada keberadaan astronomis hilal di atas ufuk setelah ijtima' dan sebelum matahari terbenam, tanpa mensyaratkan keterlihatan fisik. Metode ini murni didasarkan pada hisab hakiki. Perbedaan filosofis ini secara langsung berimplikasi pada potensi perbedaan penetapan awal bulan, di mana Wujudul Hilal cenderung menghasilkan awal bulan yang sama atau lebih cepat dibandingkan Imkanur Rukyat jika hilal sudah wujud namun belum memenuhi ambang batas visibilitas MABIMS. Organisasi lain seperti PERSIS juga mengembangkan kriteria Imkanur Rukyat internal yang kini selaras dengan parameter Neo-MABIMS, sementara NU tetap konsisten dengan rukyatul hilal bil fi'li yang didukung hisab.

- **Tantangan dan Prospek Unifikasi Kalender Hijriah:**
Unifikasi kalender Hijriah, baik di tingkat nasional, regional, maupun global, tetap menjadi sebuah cita-cita dan tantangan besar.
 1. **Perbedaan Kriteria dan Metodologi:** Selama masih terdapat perbedaan mendasar dalam kriteria dan metodologi yang dianut oleh otoritas keagamaan dan organisasi massa Islam yang berpengaruh, unifikasi akan sulit tercapai. Masing-masing pihak memiliki argumen syar'i dan ilmiah yang dianggap kuat.
 2. **Konsep Matla':** Perbedaan pandangan mengenai konsep *matla'* (wilayatul hukmi vs. ittihadul mathali') juga menjadi penghalang signifikan. Apakah hasil rukyat atau hisab di satu wilayah berlaku untuk wilayah lain atau bahkan seluruh dunia, masih menjadi perdebatan panjang.
 3. **Otoritas Penetapan:** Peran otoritas negara versus otoritas organisasi keagamaan dalam penetapan awal bulan juga menjadi dinamika tersendiri di berbagai negara.
 4. **Sosialisasi dan Edukasi:** Pemahaman masyarakat awam mengenai kompleksitas Astronomi dan berbagai kriteria visibilitas hilal masih terbatas, sehingga rentan terhadap kebingungan ketika terjadi perbedaan.

Meskipun demikian, prospek unifikasi tetap ada. Beberapa langkah yang dapat mendukung arah ini antara lain:

- **Dialog Berkelanjutan:** Dialog yang konstruktif dan saling menghargai antara para ahli falak, ulama, dan perwakilan organisasi dari berbagai pandangan.

- **Penelitian Kolaboratif:** Mendorong penelitian bersama mengenai visibilitas hilal, pengumpulan data observasi yang lebih ekstensif dan terstandar, serta pengembangan model prediksi yang lebih akurat dan dapat diterima luas.
- **Penguatan Peran Lembaga Regional/Internasional:** Upaya seperti yang dilakukan MABIMS untuk menyepakati kriteria bersama di tingkat regional perlu terus didukung dan diperluas. Inisiatif global seperti Kongres Penyatuan Kalender Hijriah Internasional juga penting.
- **Fokus pada Kemaslahatan Umat:** Menempatkan kemaslahatan dan persatuan umat sebagai tujuan utama, di atas preferensi metodologis partikular, dapat membuka jalan bagi kompromi.
- **Rekomendasi untuk Penelitian dan Pengembangan Metode Penentuan Hilal di Masa Depan:**
 1. **Pengembangan Model Visibilitas Lokal dan Regional yang Lebih Akurat:** Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan atau mengadaptasi model prediksi visibilitas hilal yang lebih spesifik memperhitungkan kondisi atmosferik dan geografis khas wilayah tertentu, seperti Indonesia yang merupakan negara kepulauan tropis.
 2. **Integrasi Data Observasi Jangka Panjang:** Membangun database observasi hilal nasional yang komprehensif, terstandarisasi, dan mudah diakses untuk mendukung penelitian dan validasi model. Pemanfaatan teknologi seperti *image processing* untuk objektivikasi laporan rukyat perlu ditingkatkan.⁵⁹
 3. **Kajian Interdisipliner:** Melibatkan lebih banyak ahli dari berbagai disiplin ilmu, termasuk astronomi, meteorologi, optik, psikologi persepsi, dan studi Islam, untuk memahami fenomena visibilitas hilal secara holistik.
 4. **Studi Komparatif Implementasi Kriteria:** Melakukan evaluasi dampak dari penerapan berbagai kriteria (misalnya, Neo-MABIMS) terhadap frekuensi perbedaan dan penerimaan masyarakat di berbagai negara.
 5. **Pengembangan Platform Edukasi Publik:** Membuat materi dan platform edukasi yang mudah diakses dan dipahami oleh masyarakat luas mengenai Astronomi, metode penentuan hilal, dan pentingnya toleransi terhadap perbedaan ijthadiyah.

Penentuan awal bulan Kamariyah melalui kriteria visibilitas hilal akan terus menjadi topik yang relevan dan penting. Dengan semangat keterbukaan ilmiah, dialog yang konstruktif, dan komitmen terhadap kemaslahatan umat, diharapkan upaya untuk mencapai pemahaman yang lebih baik dan, pada akhirnya, kesatuan dalam praktik keagamaan dapat terus diwujudkan.

Karya yang dikutip

1. Dialektika Hubungan Astronomi dan Penentuan Awal Ramadhan, Syawal, Zulhijah di Indonesia (Sinergi Antara - IAIN Kudus, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainkudus.ac.id/index.php/jurnalPenelitian/article/download/4892/pdf>
2. Mengapa Rukyatul Hilal Penting bagi Umat Islam? - RRI, diakses Mei 10, 2025, <https://rri.co.id/ramadan/1400893/mengapa-rukayatul-hilal-penting-bagi-umat-islam>
3. Kontroversi Hisab dan Rukyat Dalam Penentuan Kalender Islam di Era Modern Pendekatan Fikih Kontemporer, diakses Mei 10, 2025, <https://ojs.darulhuda.or.id/index.php/MHI/article/download/951/991>
4. ASTROISLAMICA Rekonstruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak Implementasi Kriteria Imkanurukyat MABIMS Baru Dalam Kemaslaha - Rumah Jurnal IAIN Lhokseumawe, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/3642/1454/16041>
5. Rekonstruksi Kriteria Visibilitas Hilal MABIMS dari 2, 3, 8 Menuju 3, 6, 4 - IBTimes.ID, diakses Mei 10, 2025, <https://ibtimes.id/visibilitas-hilal-mabims/>
6. jurnal fsh.uinsa.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal fsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/788/577/2487>
7. IMKAN AL-RUKYAT MABIMS SOLUSI PENYERAGAMAN KELENDER HIJRIAH - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/41824-ID-imkan-al-rukayat-mabims-solusi-penyeragaman-kelender-hijriah.pdf>
8. PELUANG DAN TANTANGAN KALENDER ISLAM INTERNASIONAL MOHAMMAD ILYAS, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal fsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/712/574>
9. repository.uin-suska.ac.id, diakses Mei 10, 2025, https://repository.uin-suska.ac.id/15556/8/8.%20BAB%20III_2018174PMH.pdf
10. pemahaman kriteria wujud al-hilal di pd persis cianjur, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/127/1/Dindin_Tesis_Sinopsis.pdf
11. Apa Itu Hilal? Ini Pengertian, Kriteria dan Cara Melihatnya - Brain Academy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brainacademy.id/blog/penjelasan-tentang-hilal>
12. Pengaruh Cuaca dan Iklim Pada Pengamatan Hilal Dalam ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.climate4life.info/2019/06/pengaruh-cuaca-dan-iklim-pada-pengamatan-hilal-penentuan-1-syawal.html>
13. Menentukan Awal Ramadhan Dengan Hilal dan Hisab - Muslim.or.id, diakses Mei 10, 2025, <https://muslim.or.id/328-menentukan-awal-ramadhan-dengan-hilal-dan-hisab.html>
14. PENETAPAN AWAL BULAN QOMARIYAH (RAMADHAN, SYAWAL, DAN ZULHIJAH) DI INDONESIA DITINJAU DARI SOSIOLOGI HUKUM | Oleh: Sudarmono, S.H.I., M.H. [12/02] - PA Rengat, diakses Mei 10, 2025,

- <https://www.pa-rengat.go.id/new/en/publikasi/arsip-artikel/2278-penetapan-awal-bulan-qomariyah-ramadhan-syawal-dan-Zulhijah-di-indonesia-ditinjau-dari-sosiologi-hukum-oleh-sudarmono-s-h-i-m-h-12-02.html>
15. repository.iainkediri.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://repository.iainkediri.ac.id/932/1/memahami%20hilal.pdf>
 16. KRITERIA VISIBILITAS HILAL DALAM PENETAPAN AWAL BULAN KAMARIAH DI INDONESIA - Jurnal IAIN Pontianak, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnaliainpontianak.or.id/index.php/khatulistiwa/article/download/214/172>
 17. Simak ! Hasil Hisab Muhammadiyah dan rujukan dalil awal ramadhan 1444 H, diakses Mei 10, 2025, <https://smamuhammadiyah2yk.sch.id/webnew/page/mimbar?id=160>
 18. Mengenal dan Memahami Kriteria Awal Bulan yang Kini Dipakai di ..., diakses Mei 10, 2025, <https://persis.or.id/news/read/mengenal-dan-memahami-kriteria-awal-bulan-yang-kini-dipakai-di-persatuan-islam>
 19. Apa itu Hilal? Pengertian, Metode Pemantauan, dan Dalilnya - detikcom, diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jabar/berita/d-7235630/apa-itu-hilal-pengertian-metode-pemantauan-dan-dalilnya>
 20. eprints.walisongo.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://eprints.walisongo.ac.id/10314/1/FULL.pdf>
 21. Argumen Muhammadiyah dalam berpegang kepada Hisab – MTT – Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/argumen-muhammadiyah-dalam-berpegang-kepada-hisab/>
 22. Hisab dan Rukyatul Hilal Oleh Drs, Baidhowi.HB,S.H | (31/10), diakses Mei 10, 2025, <https://ms-aceh.go.id/berita-artikel-galeri/artikel/174-hisab-dan-rukayatul-hilal-oleh-drs-baidhowihbsh--3110.html>
 23. Menyoal Metode Hisab Wujudul Hilal sebagai Penentu Awal Bulan Hijriah - NU Jateng, diakses Mei 10, 2025, <https://jateng.nu.or.id/opini/menyoal-metode-hisab-wujudul-hilal-sebagai-penentu-awal-bulan-hijriah-yKm6J>
 24. Telaah Argumen Metode Hisab dan Rukyat dalam Perspektif Tafsir Kontekstual - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/1166/239/3351>
 25. Kenapa Hisab bukan Rukyat? Alasan Relevansi dan Fikih - Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/02/kenapa-hisab-bukan-rukayat-alasan-relevansi-dan-fikih/>
 26. Hisab dan Rukyatul Hilal Oleh Drs, Baidhowi.HB,S.H | (31/10), diakses Mei 10, 2025, <https://www.ms-aceh.go.id/berita-artikel-galeri/artikel/174-hisab-dan-rukayatul-hilal-oleh-drs-baidhowihbsh--3110.html>
 27. 34 KRITERIA VISIBILITAS HILAL RUKYATUL HILAL INDONESIA (RHI) (KONSEP, KRITERIA, DAN IMPLEMENTASI) Mutoha Arkanuddin & Muh. M - Jurnal UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/737/681>
 28. journal.uin-alauddin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/36469/17699>

29. http://digilib.uinsa.ac.id/64875/2/Siti%20Maratussholihah_C96219066.pdf
30. Implementation of the New MABIMS Crescent Visibility Criteria: Efforts to Unite the Hijriah Calendar in the Southeast Asian Reg - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/362109461_Implementation_of_the_New_MABIMS_Crescent_Visibility_Criteria_Efforts_to_Unite_the_Hijriah_Calendar_in_the_Southeast_Asian_Region/fulltext/636c0578431b1f5300842b39/Implementation-of-the-New-MABIMS-Crescent-Visibility-Criteria-Efforts-to-Unite-the-Hijriah-Calendar-in-the-Southeast-Asian-Region.pdf
31. Ini Alasan Kriteria Imkanur Rukyat Jadi 3 Derajat Tinggi Hilal dan 6,4 Derajat Elongasi, diakses Mei 10, 2025, <https://nu.or.id/nasional/ini-alasan-kriteria-imkanur-rukyat-jadi-3-derajat-tinggi-hilal-dan-6-4-derajat-elongasi-CHNmU>
32. Catatan Kritis untuk Kriteria Imkan Rukyat yang Baru dari MABIMS ..., diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/05/catatan-kritis-untuk-kriteria-imkan-rukyat-yang-baru-dari-mabims/>
33. Kajian Kriteria Hisab Global Turki dan Usulan Kriteria Baru MABIMS dengan Menggunakan Algoritma Jean Meeus, diakses Mei 10, 2025,
<http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=804759&val=7257&title=Kajian%20Kriteria%20Hisab%20Global%20Turki%20dan%20Usulan%20Kriteria%20Baru%20MABIMS%20dengan%20Menggunakan%20Algoritma%20Jean%20Meeus>
34. Determination of Hijri Calendar in Islamic History and Its Criteria in Southeast Asia, diakses Mei 10, 2025,
<https://jml.um.edu.my/index.php/JAT/article/download/45242/17123>
35. Penerapan Kriteria Baru MABIMS Berpengaruh pada Penentuan Awal Bulan Hijriah - BRIN - Badan Riset dan Inovasi Nasional, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.brin.go.id/press-release/117790/penerapan-kriteria-baru-mabims-berpengaruh-pada-penentuan-awal-bulan-hijriah>
36. (PDF) New Criterion for Lunar Crescent Visibility - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/225099773_New_Criterion_for_Lunar_Crescent_Visibility
37. [jurnal.umsu.ac.id](https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/1526/1571), diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/1526/1571>
38. How to sight the new crescent Moon | Moon Sighting & Islamic calendar, diakses Mei 10, 2025, <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/how-sight-new-crescent-moon>
39. Study of Danjon limit in moon crescent sighting - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/257521244_Study_of_Danjon_limit_in_moon_crescent_sighting
40. Optimist And Pessimist Moon-Sighting: The Study Of Islamic Calendar

Determination In Indonesia - Semantic Scholar, diakses Mei 10, 2025,
<https://pdfs.semanticscholar.org/ae7d/bb7c8915e77b88ec96f71f00e8d2490146ae.pdf>

41. a selective literature review of young moon crescent visibility studies, diakses Mei 10, 2025, https://astronomycenter.net/pdf/zainal_2001.pdf
42. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Universiti Malaya, diakses Mei 10, 2025,
<https://jummec.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
43. Hilal Sighting & Islamic Dates By Dr Salman Shaikh, diakses Mei 10, 2025,
<https://moonsighting.org.uk/moon/publications/articles/analysis/hilal-sighting-islamic-dates-by-dr-salman-shaikh.html>
44. Plus dan Minus Adopsi KHGT oleh Muhammadiyah – MTT - Majelis Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/plus-dan-minus-adopsi-khgt-oleh-muhammadiyah/>
45. (PDF) Implementation of the New MABIMS Crescent Visibility ..., diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/362109461_Implementation_of_the_New_MABIMS_Crescent_Visibility_Criteria_Efforts_to_Unite_the_Hijriah_Calendar_in_the_Southeast_Asian_Region
46. Melihat Lebih Dalam Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nu.or.id/lapsus/melihat-lebih-dalam-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah-ILIVz>
47. BAB I - Repository UIN Suska, diakses Mei 10, 2025, <http://repository.uin-suska.ac.id/7406/2/BAB%20I.pdf>
48. Tentang Hisab Hakiki Wujudul Hilal, Cara Muhammadiyah Tetapkan Awal Ramadan, diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/hikmah/khazanah/d-6545400/tentang-hisab-hakiki-wujudul-hilal-cara-muhammadiyah-tetapkan-awal-ramadan>
49. Mengapa Muhammadiyah Memilih Wujudul Hilal Dibanding Imkan Rukyat?, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2023/03/mengapa-muhammadiyah-memilih-wujudul-hilal-dibanding-imkan-rukayat/>
50. Apa Itu KHGT-Wujudul Hilal & Puasa Muhammadiyah Berapa Hari? - Tirto.id, diakses Mei 10, 2025, <https://tirto.id/apa-itu-khgt-wujudul-hilal-puasa-ramadhan-muhammadiyah-2025-berapa-hari-g8se>
51. Principles and Practices: Unveiling Muhammadiyah Approach to the Global Hijri Calendar, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/principles-and-practices-unveiling-muhammadiyah-approach-to-the-global-hijri-calendar/>
52. Plus dan Minus Adopsi KHGT oleh Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025,
<https://pwmjateng.com/plus-dan-minus-adopsi-khgt-oleh-muhammadiyah/>
53. 63 PROBLEM AND SOLUTIONS FOR ACCEPTING A SINGLE GLOBAL ISLAMIC CALENDAR Muhammad Hidayat* Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara - unimel, diakses Mei 10, 2025,
<https://unimel.edu.my/journal/index.php/JLG/article/download/1890/1480>

54. Metode Hisab Wujudul Hilal dan Imkanur Ru'yah - Muslim.or.id, diakses Mei 10, 2025, <https://muslim.or.id/21865-metode-hisab-wujudul-hilal-dan-imkanur-ruyah.html>
55. Mengenal Rukyatul Hilal, Imkan Rukyat, dan Wujudul Hilal | Muhammadiyah, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/03/mengenal-rukyatul-hilal-imkan-rukyat-dan-wujudul-hilal/>
56. Istimbah - Jurnal of Islamic Law/Jurnal Hukum Islam - ISSN 1829-6505 vol. 18, No. 1. p. 1-264 - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/418702-none-3469403c.pdf>
57. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terlihat nya Hilal – Falak ABI, diakses Mei 10, 2025, <https://falak-abi.id/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-terlihat-nya-hilal/>
58. Crescent Moon Visibility - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/faq/crescent>
59. IMPLEMENTASI DATA IMAGE PROCESSING BMKG UNTUK KRITERIA VISIBILITAS HILAL - UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/12146/1/TESIS_1702048010_Siti_Lailatul_Mukarromah.pdf
60. PENENTUAN BATAS MINIMUM PARAMETER VISIBILITAS HILAL SAAT SUMMER SOLSTICE DAN WINTER SOLSTICE Imas Musfiroh Himpunan Astronomi Am, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/6435/5311>
61. Umur bulan sebagai parameter visibilitas hilal | Proceedings of the Universitas Negeri Surabaya Physics Seminar, diakses Mei 10, 2025, <https://fisika.fmipa.unesa.ac.id/proceedings/index.php/snf/article/view/100>
62. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/html/2503.21634v1>
63. Crescent Conditions for Odeh criterion [17]. | Download Scientific Diagram - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Crescent-Conditions-for-Odeh-criterion-17_tbl4_364331452
64. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634?>
65. The Extended Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, https://astronomycenter.net/pdf/ozlem_2014.pdf
66. A Simplified Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, https://luk.tsipil.ugm.ac.id/artikel/Ramadhan/ICOP/ozlem_2014.pdf
67. webspace.science.uu.nl, diakses Mei 10, 2025, https://webspace.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam_lunvis_method.htm
68. FREQUENTLY ASKED QUESTIONS ABOUT MOON-SIGHTING, diakses Mei 10, 2025, https://www.moonsighting.com/faq_ms.html
69. Ketajaman Mata Dalam Kriteria Visibilitas Hilal - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/268354-ketajaman-mata-dalam->

[kriteria-visibilita-d264a7d9.pdf](#)

70. View of A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, <https://ojie.um.edu.my/index.php/MJS/article/view/44110/18192>
71. Crescent Moon Visibility: A New Criterion using Deep learned Artificial Neural-Network - Iraqi Journal of Science, diakses Mei 10, 2025, <https://ijs.uobaghdad.edu.iq/index.php/eijs/article/download/8833/5353/119575>
72. (PDF) The Extended Crescent Visibility Criterion - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/380397624_The_Extended_Crescent_Visibility_Criterion
73. USULAN KRITERIA VISIBILITAS HILAL DI ... - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/307768626_USULAN_KRITERIA_VISIBILITAS_HILAL_DI_INDONESIA_DENGAN_MODEL_KASTNER/fulltext/57ceabe008ae83b37461ffa4/USULAN-KRITERIA-VISIBILITAS-HILAL-DI-INDONESIA-DENGAN-MODEL-KASTNER.pdf
74. A Method for Predicting the First Sighting of the New Crescent Moon - FalakMu, diakses Mei 10, 2025, https://falakmu.id/hilal/yallop_1997.pdf
75. Analisis Tentang Rukyat Hilal Dalam Kitab Khulāṣah Al-Aqwāl Fī Ma'rifat Al-Waqt Wa Ru'yat Al-Hilāl Karya Ibnu Rajab A - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/hisabuna/article/download/28417/15112/>
76. diakses Januari 1, 1970, <https://muhammadiyah.or.id/wp-content/uploads/2021/03/Pedoman-Hisab-Muhammadiyah.pdf>
77. diakses Januari 1, 1970, <https://tarjih.or.id/istinbath-hukum-penetapan-awal-bulan-Kamariyah-perspektif-muhammadiyah/>

BAB VIII

MEMBANGUN APLIKASI PREDIKSI HILAL DENGAN PYTHON

8.1 Pendahuluan: Signifikansi Prediksi Hilal dan Peran Python

Prediksi hilal, atau penampakan bulan sabit muda pertama setelah fase bulan baru (konjungsi), memegang peranan krusial dalam kalender Islam (Hijriah). Penentuan awal bulan kamariah, khususnya Ramadan, Syawal, dan Zulhijah, bergantung pada hasil observasi atau perhitungan (hisab) hilal. Fenomena ini menjadi dasar penetapan waktu pelaksanaan berbagai ibadah penting, seperti awal dan akhir puasa Ramadan, Hari Raya Idul Fitri, pelaksanaan ibadah haji, dan Hari Raya Idul Adha.¹ Oleh karena itu, akurasi dalam memprediksi visibilitas hilal menjadi sangat signifikan bagi umat Islam di seluruh dunia. Proses pengamatan hilal itu sendiri, yang dikenal sebagai rukyat, bahkan dianggap sebagai bentuk ibadah dan upaya mendekatkan diri kepada Allah SWT.¹

Pengembangan teknologi komputasi modern, khususnya dengan bahasa pemrograman Python, menawarkan kapabilitas yang mumpuni untuk membangun aplikasi prediksi hilal. Python, dengan ekosistem pustaka ilmiahnya yang kaya, seperti Skyfield dan AstroPy, memungkinkan perhitungan posisi benda-benda langit dengan presisi tinggi. Selain itu, kemampuannya dalam membangun antarmuka pengguna, baik berbasis teks (CLI) maupun grafis (GUI), serta kapabilitas visualisasi data, menjadikan Python pilihan yang ideal untuk mengembangkan alat bantu prediksi hilal yang informatif dan mudah diakses.

Namun, prediksi visibilitas hilal bukanlah tugas yang sederhana. Berbagai faktor astronomis memengaruhi apakah hilal dapat terlihat atau tidak. Faktor-faktor ini meliputi elongasi (jarak sudut antara Bulan dan Matahari), altitude (ketinggian Bulan di atas ufuk saat Matahari terbenam), azimuth Bulan relatif terhadap Matahari, usia Bulan sejak konjungsi, dan lebar atau fraksi iluminasi sabit Bulan.¹ Selain itu, kondisi atmosfer Bumi, seperti cuaca, kejernihan langit, tingkat polusi cahaya, dan kelembapan, serta faktor geografis pengamat (lintang, kondisi ufuk, dan ketinggian tempat pengamatan) turut memainkan peran penting.¹ Lebih lanjut, terdapat beragam kriteria visibilitas hilal yang dikembangkan oleh para astronom dan institusi, masing-masing dengan dasar perhitungan dan ambang batas parameter yang berbeda, yang menambah kompleksitas dalam prediksi.

Bab ini bertujuan untuk memandu pembaca melalui proses perancangan dan

pengembangan aplikasi prediksi hilal yang fungsional menggunakan Python. Pembahasan akan mencakup integrasi perhitungan posisi Matahari dan Bulan dengan berbagai kriteria hilal populer, desain modular perangkat lunak untuk memastikan fleksibilitas dan kemudahan pemeliharaan, implementasi antarmuka pengguna yang sederhana, hingga teknik visualisasi hasil prediksi dalam bentuk grafik posisi relatif hilal dan peta visibilitas global. Dengan demikian, diharapkan pembaca dapat memahami aspek teknis dan astronomis yang terlibat, serta mampu mengembangkan alat prediksi hilal sendiri.

8.2 Integrasi: Perhitungan Posisi Matahari-Bulan dengan Kriteria Hilal

Integrasi yang akurat antara perhitungan astronomis posisi Matahari dan Bulan dengan kriteria visibilitas hilal merupakan inti dari aplikasi prediksi hilal. Bagian ini akan menguraikan dasar-dasar astronomi yang relevan, membahas kriteria-kriteria hilal yang umum digunakan, serta memperkenalkan pustaka Python yang dapat diandalkan untuk melakukan perhitungan astronomis.

8.2.1 Dasar-Dasar Astronomi untuk Prediksi Hilal

Pemahaman mendalam mengenai konsep-konsep astronomi fundamental adalah prasyarat untuk mengembangkan aplikasi prediksi hilal yang akurat. Berikut adalah elemen-elemen kunci yang perlu dipertimbangkan:

- **Konjungsi (ijtimak) Geosentris:** Titik awal dalam perhitungan kalender Hijriah adalah momen konjungsi geosentris, yaitu ketika Bulan dan Matahari berada pada bujur ekliptika yang sama jika dilihat dari pusat Bumi.² Hilal baru mulai terbentuk dan berpotensi terlihat setelah terjadinya konjungsi ini. Usia Bulan biasanya dihitung sejak momen konjungsi ini.
- **Parameter Kunci Matahari dan Bulan:** Beberapa parameter astronomis menjadi penentu utama dalam prediksi visibilitas hilal ¹:
 - **Altitude (Ketinggian):** Ketinggian sudut Bulan di atas ufuk pada saat Matahari terbenam. Semakin tinggi posisi hilal, semakin besar kemungkinan untuk dapat diamati.
 - **Azimut:** Posisi horisontal Bulan (dan Matahari) diukur dari titik utara atau selatan sepanjang horison. Perbedaan azimuth antara Bulan dan Matahari (DAz atau Delta Azimut) juga merupakan parameter penting dalam beberapa kriteria.
 - **Elongasi (ARCL - Arc of Light):** Jarak sudut antara pusat Bulan dan pusat

Matahari. Semakin besar elongasi, semakin tebal sabit Bulan dan semakin jauh dari silaunya Matahari, sehingga lebih mudah terlihat.

- **Usia Bulan (Age):** Waktu yang telah berlalu sejak konjungsi hingga saat pengamatan (biasanya saat Matahari terbenam). Umumnya diukur dalam jam.
- **Iluminasi/Fraksi Iluminasi (Lebar Sabit - W):** Persentase atau lebar bagian permukaan Bulan yang tersinari Matahari dan terlihat dari Bumi. Pada fase hilal, iluminasi sangat kecil, seringkali kurang dari 1%.² Lebar sabit ini menjadi parameter penting dalam kriteria seperti Odeh dan Yallop.
- **Lag Time:** Selisih waktu antara terbenamnya Matahari dan terbenamnya Bulan. Semakin lama lag time, semakin besar kesempatan hilal untuk diamati di langit yang lebih gelap.
- **Koordinat Toposentris vs. Geosentris:** Perhitungan posisi benda langit untuk prediksi hilal harus dilakukan dari perspektif pengamat di permukaan Bumi (toposentris), bukan dari pusat Bumi (geosentris). Hal ini penting karena paralaks Bulan (pergeseran semu posisi Bulan akibat lokasi pengamat) cukup signifikan dan dapat memengaruhi nilai altitude dan azimuth Bulan.³ Sebaliknya, konjungsi umumnya didefinisikan secara geosentris.
- **Faktor-faktor Lain yang Memengaruhi Visibilitas:** Selain parameter geometris Matahari-Bulan, faktor-faktor eksternal juga sangat berpengaruh¹:
 - **Kondisi Atmosfer:** Kejernihan atmosfer, keberadaan awan, kabut, debu, dan tingkat kelembapan sangat memengaruhi kontras hilal terhadap latar belakang langit. Fenomena refraksi atmosfer dapat sedikit mengangkat posisi hilal secara semu, sementara ekstingsi atmosfer mengurangi kecerahan hilal.
 - **Polusi Cahaya:** Cahaya buatan dari perkotaan dapat mengalahkan cahaya redup hilal, sehingga menyulitkan pengamatan di daerah dengan polusi cahaya tinggi.
 - **Faktor Geografis Pengamat:**
 - **Lintang Geografis:** Memengaruhi sudut pandang pengamat terhadap ekliptika dan jalur tampak Bulan di langit.
 - **Kondisi Ufuk Barat:** Ufuk yang bebas dari halangan seperti pegunungan, bangunan tinggi, atau pepohonan sangat ideal.
 - **Ketinggian Tempat Pengamatan:** Lokasi yang lebih tinggi umumnya menawarkan kondisi atmosfer yang lebih baik dan jarak pandang yang lebih jauh.

Memahami dan mampu menghitung parameter-parameter ini dengan akurat adalah langkah fundamental sebelum menerapkan kriteria visibilitas hilal.

8.2.2 Kriteria Visibilitas Hilal Populer

Berbagai kriteria telah dikembangkan oleh para astronom dan lembaga keagamaan untuk memprediksi kemungkinan terlihatnya hilal. Setiap kriteria memiliki dasar ilmiah, justifikasi penggunaan, dan seringkali ambang batas parameter yang berbeda. Berikut adalah beberapa kriteria yang populer dan relevan untuk diimplementasikan dalam aplikasi:

- **Kriteria MABIMS (Baru/Neo MABIMS):** Kriteria ini merupakan kesepakatan Menteri-Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura. Versi terbaru (Neo MABIMS), yang diadopsi mulai tahun 2022 di Indonesia, menetapkan bahwa hilal dianggap terlihat jika pada saat Matahari terbenam, **ketinggian Bulan minimal 3 derajat** di atas ufuk dan **elongasi (jarak sudut Bulan-Matahari) minimal 6.4 derajat**.⁴ Kriteria ini juga dikenal sebagai kriteria Imkanur Rukyat (kemungkinan terlihatnya hilal) MABIMS. Kriteria MABIMS sebelumnya (lama) menggunakan ambang batas tinggi Bulan minimal 2 derajat, elongasi minimal 3 derajat, atau usia Bulan minimal 8 jam setelah konjungsi.¹ Perubahan ke Neo MABIMS didasarkan pada kajian data observasi jangka panjang dan bertujuan untuk meningkatkan kesesuaian antara hasil hisab (perhitungan) dan rukyat (pengamatan).⁴
- **Kriteria Wujudul Hilal (Muhammadiyah):** Kriteria ini digunakan oleh organisasi Muhammadiyah di Indonesia. Menurut kriteria Wujudul Hilal, bulan baru Hijriah dimulai apabila pada hari ke-29 bulan berjalan saat Matahari terbenam telah terpenuhi tiga syarat: (1) telah terjadi ijtimak (konjungsi), (2) ijtimak tersebut terjadi sebelum Matahari terbenam, dan (3) pada saat Matahari terbenam, piringan atas Bulan berada di atas ufuk (artinya, Bulan belum terbenam dan memiliki altitude positif).¹ Kriteria ini tidak mensyaratkan hilal harus terlihat, melainkan cukup dengan keberadaan Bulan di atas ufuk setelah konjungsi pada saat Matahari terbenam.
- **Kriteria Odeh:** Dikembangkan oleh Mohammad Odeh dari Islamic Crescents' Observation Project (ICOP), kriteria ini didasarkan pada dua parameter utama: ARCV (Arc of Vision), yaitu beda tinggi toposentris antara pusat Matahari dan sabit Bulan (tanpa memperhitungkan refraksi atmosfer), dan W (Crescent Width), yaitu lebar sabit Bulan toposentris dalam satuan menit busur (arcminute).¹ Odeh mendefinisikan sebuah parameter V yang dihitung menggunakan formula:

$$V = \text{ARCV} - (-0.1018W^3 + 0.7319W^2 - 6.3226W + 7.1651)$$

Berdasarkan nilai V, visibilitas hilal dikategorikan ke dalam beberapa zona 11:

- Zona A: $V \geq 5.65$ (Hilal terlihat dengan mata telanjang)

- Zona B: $2 \leq V < 5.65$ (Hilal terlihat dengan alat bantu optik, mungkin terlihat dengan mata telanjang)
- Zona C: $-0.96 \leq V < 2$ (Hilal hanya terlihat dengan alat bantu optik)
- Zona D: $V < -0.96$ (Hilal tidak terlihat meskipun dengan alat bantu optik) Kriteria Odeh juga menyediakan tabel batas ARCV untuk berbagai nilai W yang membagi visibilitas ke dalam zona-zona tersebut.
- Kriteria Yallop: Dikembangkan oleh Bernard Yallop, kriteria ini menggunakan parameter uji tunggal 'q' yang dihitung berdasarkan ARCV geosentris (beda tinggi Bulan-Matahari tanpa refraksi) dan lebar sabit Bulan toposentris (W') dalam menit busur.1 Formula untuk q adalah:

$$q = (\text{ARCV} - (11.8371 - 6.3226W' + 0.7319W'^2 - 0.1018W'^3)) / 10$$

Visibilitas hilal kemudian diklasifikasikan berdasarkan nilai q 13:

- A: $q > +0.216$ (Mudah terlihat dengan mata telanjang)
- B: $+0.216 \geq q > -0.014$ (Terlihat dalam kondisi atmosfer sempurna)
- C: $-0.014 \geq q > -0.160$ (Mungkin memerlukan alat bantu optik untuk menemukannya terlebih dahulu)
- D: $-0.160 \geq q > -0.232$ (Hanya terlihat dengan alat bantu optik)
- E: $-0.232 \geq q > -0.293$ (Tidak terlihat dengan teleskop konvensional, $\text{ARCL} \leq 8.5^\circ$)
- F: $-0.293 \geq q$ (Tidak terlihat, di bawah batas Danjon, $\text{ARCL} \leq 8^\circ$) Yallop juga merekomendasikan "waktu terbaik" untuk observasi, yaitu sekitar $(5 \times \text{Waktu Terbenam Matahari} + 4 \times \text{Waktu Terbenam Bulan}) / 9$.¹³
- **Kriteria Danjon:** Kriteria ini, yang diajukan oleh André Danjon, menyatakan bahwa hilal secara teoretis tidak mungkin terlihat jika elongasi (jarak sudut Bulan-Matahari) kurang dari sekitar 7 derajat.¹ Ini disebabkan oleh hamburan cahaya Matahari oleh permukaan Bulan yang kasar dan keterbatasan sensitivitas mata manusia untuk mendeteksi sabit yang sangat tipis dan dekat dengan Matahari.
- **Kriteria Imkanur Rukyat (Umum):** Secara umum, konsep Imkanur Rukyat berarti mempertimbangkan kemungkinan hilal dapat dilihat berdasarkan parameter-parameter astronomis tertentu. Kriteria MABIMS adalah salah satu bentuk implementasi dari konsep Imkanur Rukyat.¹ Tujuannya adalah mencari titik temu antara metode hisab (perhitungan) dan rukyat (observasi).
- **Kriteria Istanbul (1978):** Kriteria ini merupakan hasil konferensi di Istanbul yang menetapkan bahwa hilal dianggap terlihat jika **elongasi minimal 8 derajat** dan **tinggi Bulan minimal 5 derajat** di atas ufuk saat Matahari terbenam.¹ Kriteria ini diusulkan sebagai dasar untuk kalender Islam global.

Pemilihan kriteria yang akan diimplementasikan dalam aplikasi dapat bergantung pada preferensi pengguna atau tujuan aplikasi (misalnya, untuk keperluan edukasi, perbandingan, atau mengikuti standar tertentu). Penting untuk dicatat bahwa perbedaan dalam kriteria ini seringkali menjadi sumber perbedaan dalam penentuan awal bulan Hijriah di berbagai komunitas Muslim.¹⁵

8.2.3 Pustaka Python untuk Perhitungan Astronomi

Untuk melakukan perhitungan posisi Matahari, Bulan, dan parameter-parameter astronomis lainnya dengan akurasi yang memadai, diperlukan pustaka Python yang khusus dirancang untuk mekanika benda langit. Berikut adalah beberapa pustaka yang relevan:

- **Skyfield:** Ini adalah pustaka Python modern yang dirancang untuk perhitungan astronomi presisi tinggi. Skyfield mampu menghitung posisi planet, Matahari, Bulan, bintang, dan satelit Bumi.¹⁹ Keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk menggunakan ephemeris (tabel data posisi benda langit) dari Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA, seperti seri DE (misalnya, DE421 yang mencakup tahun 1900-2050 atau DE440 yang lebih baru dan akurat untuk rentang 1550-2650).²⁰ Skyfield dapat menghitung berbagai jenis posisi, termasuk:
 - **Posisi Astrometrik:** Posisi geometris benda langit tanpa memperhitungkan efek aberasi cahaya dan defleksi gravitasi.
 - **Posisi Apparent:** Posisi benda langit sebagaimana terlihat dari Bumi, setelah memperhitungkan aberasi cahaya akibat gerakan pengamat dan defleksi cahaya akibat gravitasi benda-benda masif.²³ Ini adalah posisi yang relevan untuk observasi. Skyfield juga menyediakan modul almanac yang berisi fungsi-fungsi untuk menemukan waktu peristiwa astronomis penting seperti konjungsi (termasuk bulan baru), oposisi, waktu terbit dan terbenam Matahari dan Bulan, serta transit meridian.²⁵ Lebih lanjut, Skyfield memungkinkan perhitungan koordinat baik secara **geosentris** (dari pusat Bumi) maupun **toposentris** (dari lokasi spesifik pengamat di permukaan Bumi) dengan menggunakan objek `GeographicPosition` dari modul `wgs84`.¹⁹ Untuk prediksi hilal, kemampuan menghitung altitude dan azimuth toposentris geometris (tanpa memperhitungkan refraksi atmosfer) sangat penting, dan ini dapat diperoleh dengan memanggil metode `.apparent().altaz()` pada objek posisi yang diobservasi dari lokasi toposentris, tanpa menyertakan argumen untuk koreksi refraksi atmosfer.²³
- **AstroPy:** Merupakan pustaka inti yang sangat komprehensif untuk astronomi dalam Python. AstroPy menyediakan fondasi berupa struktur data, unit fisika,

konstanta astronomi, dan sistem transformasi koordinat yang canggih.²⁹ Beberapa fitur utamanya yang relevan meliputi:

- Objek Time: Untuk representasi dan manipulasi waktu dengan berbagai skala (UTC, TT, TDB, dll.) dan format, dengan presisi tinggi.³²
- Objek SkyCoord: Untuk merepresentasikan koordinat benda langit dalam berbagai sistem (misalnya, ICRS, GCRS, AltAz) dan melakukan transformasi antar sistem tersebut.²⁹
- Fungsi `get_sun()` dan `get_moon()`: Menyediakan cara mudah untuk mendapatkan posisi geosentris Matahari dan Bulan pada waktu tertentu.³⁴
- Dukungan Ephemeris JPL: AstroPy juga dapat menggunakan ephemeris JPL melalui modul `solar_system_ephemeris` untuk perhitungan posisi planet dan Bulan yang akurat.³⁷
- Perhitungan Altitude/Azimut Toposentris: Dengan mendefinisikan `EarthLocation` dan waktu observasi, AstroPy dapat mentransformasikan koordinat ke sistem AltAz untuk pengamat di lokasi tersebut. Skyfield dan AstroPy dapat digunakan secara komplementer; Skyfield unggul dalam perhitungan posisi inti dan almanak, sementara AstroPy menyediakan kerangka kerja yang lebih luas untuk unit, konstanta, dan manajemen data astronomi.³⁰
- **PyEphem (Catatan Peringatan):** Meskipun PyEphem adalah pustaka yang telah lama digunakan untuk perhitungan astronomi di Python dan membungkus pustaka C "libastro" dari XEphem²⁰, pustaka ini **tidak lagi aktif dikembangkan** dan rilis terakhirnya adalah pada tahun 2015.⁴⁰ PyEphem memiliki beberapa keterbatasan, termasuk isu instalasi karena komponen C-nya, API yang dianggap kurang modern dan terkadang membingungkan (misalnya, penanganan unit sudut), serta akurasi yang terbatas pada sekitar 1 detik busur karena menggunakan teknik dan model tahun 1980-an (seperti model nutasi IAU 1980 dan teori planet VSOP87).²⁰ Untuk proyek-proyek baru, **Skyfield sangat direkomendasikan sebagai alternatif yang lebih modern, akurat, dan mudah digunakan.**²⁰ Beberapa penelitian yang menggunakan PyEphem untuk analisis visibilitas hilal juga telah mencatat potensi inkonsistensi hasil jika dibandingkan dengan pustaka lain atau perhitungan ulang.⁴¹

Berdasarkan pertimbangan di atas, **Skyfield akan menjadi pilihan utama** untuk pengembangan aplikasi prediksi hilal dalam bab ini karena kemudahan penggunaan, akurasi tinggi melalui dukungan ephemeris JPL modern, dan fitur almanak yang lengkap. AstroPy dapat digunakan sebagai pendukung untuk fungsionalitas spesifik yang mungkin tidak secara langsung disediakan oleh Skyfield atau untuk manajemen unit dan konstanta yang lebih terstruktur jika diperlukan. Keputusan ini sejalan dengan rekomendasi komunitas astronomi Python untuk menggunakan Skyfield pada proyek-proyek baru yang membutuhkan perhitungan posisi benda langit.

8.3 Desain: Modul dan Fungsi untuk Prediksi Hilal

Setelah memahami dasar-dasar astronomi, kriteria visibilitas, dan pustaka Python yang akan digunakan, langkah selanjutnya adalah merancang struktur perangkat lunak aplikasi prediksi hilal. Desain yang baik akan menghasilkan kode yang mudah dipahami, dipelihara, dan dikembangkan lebih lanjut.

8.3.1 Prinsip Desain Modular

Prinsip utama dalam perancangan perangkat lunak modern adalah **desain modular**. Pendekatan ini melibatkan pemecahan sistem yang kompleks menjadi komponen-komponen yang lebih kecil, independen, dan dapat digunakan kembali, yang dalam Python diwujudkan sebagai modul dan paket.⁴² Beberapa prinsip kunci dalam desain modular meliputi:

- **Pemisahan Kepentingan (*Separation of Concerns*):** Setiap modul atau fungsi harus memiliki satu tanggung jawab yang jelas dan terdefinisi dengan baik. Misalnya, satu modul bertanggung jawab untuk perhitungan astronomis inti, modul lain untuk evaluasi kriteria hilal, dan modul lainnya lagi untuk antarmuka pengguna. Hal ini mencegah satu bagian kode menjadi terlalu besar dan rumit.
- **Kohesi Tinggi (*High Cohesion*):** Fungsionalitas yang secara logis terkait erat sebaiknya dikelompokkan bersama dalam satu modul. Contohnya, semua fungsi yang berhubungan dengan perhitungan parameter orbit Bulan sebaiknya berada dalam modul yang sama.
- **Ketergantungan Rendah (*Low Coupling*):** Modul-modul harus memiliki dependensi seminimal mungkin satu sama lain. Ini berarti perubahan dalam satu modul idealnya tidak berdampak signifikan pada modul lain, selama antarmuka (cara modul berinteraksi) tetap konsisten.

Manfaat dari penerapan desain modular sangat signifikan⁴²:

- **Kemudahan Pemeliharaan (*Maintainability*):** Komponen yang lebih kecil dan terfokus lebih mudah dipahami, di-debug, dan dimodifikasi.
- **Reusabilitas (*Reusability*):** Modul atau fungsi yang dirancang dengan baik dapat digunakan kembali di bagian lain proyek atau bahkan di proyek lain.
- **Testabilitas (*Testability*):** Setiap modul dapat diuji secara terisolasi (unit testing), yang menyederhanakan proses penjaminan kualitas.
- **Skalabilitas (*Scalability*):** Fitur baru dapat ditambahkan atau fungsionalitas yang ada dapat ditingkatkan dengan dampak minimal pada kode yang sudah ada.

Dalam konteks aplikasi prediksi hilal, kita dapat menerapkan pola desain perangkat lunak yang relevan. Misalnya, pola **Factory Method** dapat digunakan untuk membuat objek kriteria yang berbeda secara dinamis berdasarkan pilihan pengguna. Pola **Strategy** dapat digunakan untuk mengkapsulkan algoritma dari berbagai kriteria hilal, memungkinkan pengguna untuk mengganti kriteria saat runtime tanpa mengubah logika inti aplikasi.⁴³ Dengan memisahkan logika perhitungan dari logika presentasi (UI), kita juga mengikuti prinsip dasar yang memungkinkan fleksibilitas dalam pengembangan antarmuka.

8.3.2 Struktur Direktori Proyek

Struktur direktori yang terorganisir adalah fondasi untuk pengembangan yang efisien dan kolaboratif, terutama untuk proyek ilmiah yang mungkin berkembang seiring waktu. Berikut adalah contoh struktur direktori yang disarankan untuk aplikasi prediksi hilal, yang memisahkan kode aplikasi, skrip peluncur, dan tes⁴²:

```

hilal_predictor/
|
|—— hilal_app/          # Paket utama aplikasi
|   |—— __init__.py
|   |—— core_calculations.py # Perhitungan astronomi dasar
|   |—— hilal_criteria.py   # Implementasi kriteria hilal
|   |—— ui_cli.py          # Logika untuk CLI (jika dipisahkan)
|   |—— ui_gui.py          # Logika untuk GUI (jika dipisahkan)
|   |—— utils.py           # Fungsi utilitas (opsional)
|
|—— tests/              # Unit tests
|   |—— __init__.py
|   |—— test_core_calculations.py
|   |—— test_hilal_criteria.py
|
|—— data/               # Direktori untuk data pendukung (misalnya, ephemeris lokal jika
tidak diunduh otomatis)
|
|—— main_cli.py         # Skrip utama untuk menjalankan aplikasi via CLI
|—— main_gui.py         # Skrip utama untuk menjalankan aplikasi via GUI
|—— requirements.txt    # Daftar dependensi pustaka Python
|—— README.md           # Deskripsi proyek dan cara penggunaan

```

Penggunaan `__init__.py` dalam direktori `hilal_app/` dan `tests/` memungkinkan direktori tersebut diperlakukan sebagai paket Python, sehingga modul di dalamnya dapat diimpor dengan mudah. File `requirements.txt` sangat penting untuk memastikan reproduktifitas lingkungan pengembangan di mesin yang berbeda atau oleh pengembang lain, dengan mencantumkan semua pustaka eksternal yang dibutuhkan beserta versinya. Penggunaan *virtual environment* juga sangat disarankan untuk mengisolasi dependensi proyek.⁴² Struktur seperti ini memudahkan navigasi kode, pemahaman alur kerja, dan kolaborasi jika proyek dikerjakan oleh tim atau jika akan dikembangkan lebih lanjut di masa depan.

8.3.3 Desain Modul Inti (`core_calculations.py`)

Modul `core_calculations.py` akan menjadi jantung dari aplikasi, bertanggung jawab untuk semua perhitungan astronomis dasar menggunakan Skyfield. Modul ini akan menyediakan data mentah yang akan dikonsumsi oleh modul kriteria hilal dan antarmuka pengguna. Keakuratan fungsi-fungsi dalam modul ini sangat vital untuk keandalan keseluruhan aplikasi.

Berikut adalah fungsi-fungsi utama yang akan diimplementasikan dalam modul ini:

1. Fungsi Inisialisasi Astronomi:

- `setup_astronomy(ephemeris_file='de421.bsp')`: Fungsi ini akan memuat objek Timescale dari Skyfield dan ephemeris JPL yang ditentukan (misalnya, `de421.bsp` atau `de440.bsp`). Ephemeris berisi data posisi presisi tinggi untuk Matahari, Bulan, dan planet-planet. Fungsi ini akan mengembalikan objek Timescale dan objek ephemeris yang telah dimuat.

```
Python
from skyfield.api import load

def setup_astronomy(ephemeris_file='de421.bsp'):
    ts = load.timescale()
    eph = load(ephemeris_file)
    return ts, eph
```

2. Fungsi Membuat Objek Pengamat:

- `create_observer(latitude_deg, longitude_deg, elevation_m, eph)`: Fungsi ini membuat objek `GeographicPosition` Skyfield yang merepresentasikan lokasi pengamat di permukaan Bumi. Ini diperlukan untuk perhitungan toposentris.¹⁹

```
Python
from skyfield.api import wgs84
```

```
def create_observer(latitude_deg, longitude_deg, elevation_m, eph):
    earth = eph['earth']
    observer_location = wgs84.latlon(latitude_deg, longitude_deg,
    elevation_m=elevation_m)
    return earth + observer_location
```

3. Fungsi Mendapatkan Posisi Benda Langit (Altitude & Azimut Toposentris Geometris):

- `get_celestial_body_altaz(body_name_str, observer_object, time_object, eph):` Fungsi ini menghitung dan mengembalikan altitude (ketinggian) dan azimut toposentris geometris (tanpa refraksi atmosfer) serta jarak ke benda langit (`body_name_str`, misalnya 'sun' atau 'moon') dari `observer_object` pada `time_object` tertentu.²³

Python

```
def get_celestial_body_altaz(body_name_str, observer_object, time_object, eph):
    celestial_body = eph[body_name_str]
    astrometric = observer_object.at(time_object).observe(celestial_body)
    apparent_pos = astrometric.apparent()
    alt, az, distance = apparent_pos.altaz() # Default is geometric (no refraction)
    return alt, az, distance
```

4. Fungsi Menghitung Waktu Konjungsi Geosentris Terakhir:

- `get_last_geocentric_conjunction_time(current_time_object, eph):` Fungsi ini akan mencari waktu konjungsi geosentris (Bulan Baru) antara Matahari dan Bulan yang terjadi sebelum `current_time_object`. Ini menggunakan fungsi `almanac.oppositions_conjunctions` dari Skyfield, di mana nilai `y=1` menandakan konjungsi untuk Bulan.²⁵

Python

```
from skyfield import almanac
import numpy as np
```

```
def get_last_geocentric_conjunction_time(current_time_object, eph):
    moon = eph['moon']
    # Search in a window before the current time (e.g., 35 days)
    t0 = current_time_object - 35
    t1 = current_time_object

    f_conjunction = almanac.oppositions_conjunctions(eph, moon)
    times, types = almanac.find_discrete(t0, t1, f_conjunction)
```

```

conjunction_times = times[np.where(types == 1)] # y=1 for New Moon (conjunction)
if len(conjunction_times) > 0:
    return conjunction_times[-1] # Return the latest one found
return None

```

5. Fungsi-fungsi untuk Menghitung Parameter Dasar Kriteria Hilal:

- `calculate_moon_age_hours(observation_time_object, conjunction_time_object)`: Menghitung usia Bulan dalam jam, yaitu selisih antara `observation_time_object` dan `conjunction_time_object`.

Python

```

def calculate_moon_age_hours(observation_time_object, conjunction_time_object):
    if conjunction_time_object is None:
        return None
    return (observation_time_object - conjunction_time_object) * 24.0 # Skyfield
time difference is in days

```

- `calculate_geocentric_elongation_deg(observation_time_object, eph)`: Menghitung elongasi geosentris, yaitu jarak sudut antara Matahari dan Bulan jika dilihat dari pusat Bumi.⁴⁴

Python

```

def calculate_geocentric_elongation_deg(observation_time_object, eph):
    earth = eph['earth']
    sun_body = eph['sun']
    moon_body = eph['moon']

    e = earth.at(observation_time_object)
    s_apparent = e.observe(sun_body).apparent()
    m_apparent = e.observe(moon_body).apparent()

    return s_apparent.separation_from(m_apparent).degrees

```

- `calculate_topocentric_arcv_deg(sun_alt_deg, moon_alt_deg)`: Menghitung Arc of Vision (ARCV) toposentris, yaitu selisih absolut antara altitude toposentris geometris Bulan dan Matahari.

Python

```

def calculate_topocentric_arcv_deg(sun_alt_deg, moon_alt_deg):
    return abs(moon_alt_deg - sun_alt_deg)

```


- `calculate_moon_lag_time_minutes(observer_object, observation_time_object, eph, ts)`: Menghitung selisih waktu (dalam menit) antara terbenamnya Matahari dan terbenamnya Bulan. Ini memerlukan pencarian waktu terbenam Matahari dan Bulan menggunakan `almanac.find_settings`.²⁵ Waktu observasi digunakan sebagai referensi untuk rentang pencarian.

Python

```
def calculate_moon_lag_time_minutes(observer_object, observation_time_object, eph, ts):
```

```
    sun_body = eph['sun']
```

```
    moon_body = eph['moon']
```

```
    # Define a search window around the observation time (e.g., +/- 12 hours)
```

```
    t_start_search = observation_time_object - 0.5
```

```
    t_end_search = observation_time_object + 0.5
```

```
    # Find sunset time
```

```
    sunset_times, _ = almanac.find_settings(observer_object, sun_body,  
t_start_search, t_end_search)
```

```
    # Find moonset time
```

```
    moonset_times, _ = almanac.find_settings(observer_object, moon_body,  
t_start_search, t_end_search)
```

```
    if sunset_times.shape > 0 and moonset_times.shape > 0:
```

```
        # Find the sunset and moonset closest to the observation time, occurring after it or  
very near it.
```

```
        # This logic might need refinement based on the exact definition of lag time for hilal.
```

```
        # For simplicity here, we take the first one found in the window.
```

```
        # A more robust approach would be to find the sunset on the day of  
observation_time_object
```

```
        # and the moonset that follows that specific sunset.
```

```
        # Simplified: find sunset on the day of observation_time_object
```

```
        day_start = ts.utc(observation_time_object.utc_datetime().year,
```

```
                           observation_time_object.utc_datetime().month,
```

```
                           observation_time_object.utc_datetime().day)
```

```
        day_end = day_start + 1
```

```
        sunsets_on_day, _ = almanac.find_settings(observer_object, sun_body,  
day_start, day_end)
```

```

    if sunsets_on_day.shape == 0: return None
    actual_sunset_time = sunsets_on_day

    # Find moonset after this specific sunset
    moonsets_after_sunset, _ = almanac.find_settings(observer_object,
moon_body, actual_sunset_time, actual_sunset_time + 0.5) # Search 12 hours
after sunset
    if moonsets_after_sunset.shape == 0: return None
    actual_moonset_time = moonsets_after_sunset

    lag_time_days = actual_moonset_time - actual_sunset_time
    return lag_time_days * 24 * 60 # Convert days to minutes
return None

```

- calculate_topocentric_crescent_width_yallop_W_prime_arcmin(observer_object, observation_time_object, eph, moon_physical_radius_km=1737.4): Mengimplementasikan formula W' Yallop. Ini melibatkan perhitungan ARCL toposentris, paralaks Bulan, altitude geosentris Bulan, semi-diameter geosentris (SD), dan semi-diameter toposentris (SD').¹³ Radius fisik Bulan (1737.4 km ⁴⁶) tidak secara langsung masuk ke formula W' Yallop yang berbasis paralaks, namun penting untuk perhitungan diameter sudut jika diperlukan untuk validasi atau pendekatan lain. Formula Yallop untuk SD adalah $0.27245 \times \pi \text{rad}$.

Python

```
import numpy as np
```

```

def calculate_topocentric_crescent_width_yallop_W_prime_arcmin(observer_object,
observation_time_object, eph):
    earth = eph['earth']
    sun_body = eph['sun']
    moon_body = eph['moon']

    # Topocentric ARCL (elongation from observer)
    obs_pos = observer_object.at(observation_time_object)
    s_topo_apparent = obs_pos.observe(sun_body).apparent()
    m_topo_apparent = obs_pos.observe(moon_body).apparent()
    arcl_topo_radians =
s_topo_apparent.separation_from(m_topo_apparent).radians

```

```

# Moon's parallax (Skyfield provides this for apparent topocentric position)
parallax_radians = m_topo_apparent.parallax.radians
if parallax_radians == 0: # Avoid division by zero if parallax is not well-defined (e.g. for
Sun)
    # This case should not happen for the Moon observed from Earth's surface
    # but as a safeguard or if the object is very far.
    # For the moon, parallax is significant.
    # If Skyfield's parallax is horizontal parallax, it's fine.
    # Yallop's  $\pi$  is "parallax of the Moon". Standard astronomical definition is Horizontal
Parallax.
    # Skyfield's parallax is the "equatorial horizontal parallax"
    pass

# Geocentric altitude of the Moon (h)
# Observe Moon from Earth's center, then get altaz from observer's location perspective
(this is tricky)
# Yallop's 'h' is geocentric altitude.
# A simpler interpretation: use topocentric altitude for consistency if geocentric altitude is
hard to get in Skyfield for this specific formula context.
# However, Yallop's paper [13] states "h is the geocentric altitude of the Moon".
# To get geocentric altitude:
# 1. Moon's position as seen from Earth's center:
moon_geocentric_pos =
earth.at(observation_time_object).observe(moon_body)
# 2. Transform this to observer's horizon (this step is conceptually problematic as altaz is
inherently topocentric)
# A more direct way to get geocentric altitude for a specific topocentric observer is not
straightforward in Skyfield.
# Let's assume for now, as a simplification or if Yallop's context allows, that topocentric
altitude can be a proxy,
# or that the effect of  $(1 + \sin h \sin \pi)$  is small enough that geocentric h is not super
critical for small diff.
# For a more rigorous implementation, one might need to calculate geocentric (x,y,z) of
Moon,
# then transform to a local horizontal frame centered at Earth's center but oriented like
observer's horizon.
# This is complex. A common approximation for SD' uses topocentric altitude.
# Let's use topocentric altitude of the Moon for 'h' in SD' calculation as an approximation
if geocentric is difficult.
m_alt_topo, _, _ = get_celestial_body_altaz('moon', observer_object,
observation_time_object, eph)
h_radians = m_alt_topo.radians # Using topocentric altitude as 'h'

```

```

# SD (geocentric semi-diameter in radians)
# Yallop's formula: SD = 0.27245 * parallax_radians (where parallax is in radians)
# The constant 0.27245 is approximately  $k = R_{\text{moon}} / R_{\text{earth\_equatorial}}$ 
# And horizontal_parallax_radians approx  $R_{\text{earth\_equatorial}} / \text{Distance\_moon}$ 
# So, SD_moon_radians =  $(R_{\text{moon}} / R_{\text{earth\_equatorial}}) * (R_{\text{earth\_equatorial}} / \text{Distance\_moon}) = R_{\text{moon}} / \text{Distance\_moon}$ 
# Skyfield's apparent_diameter can be used to get SD more directly if physical radius is known.
# Or, stick to Yallop's formula if parallax_radians is the geocentric horizontal parallax.
# Skyfield's m_topo_apparent.parallax.radians is the geocentric equatorial horizontal parallax.
sd_geocentric_radians = 0.27245 * parallax_radians

# SD' (topocentric semi-diameter in radians)
sd_topocentric_radians = sd_geocentric_radians * (1 + np.sin(h_radians) * np.sin(parallax_radians))

# W' (topocentric crescent width in radians)
w_prime_radians = sd_topocentric_radians * (1 - np.cos(arcl_topo_radians))

return np.degrees(w_prime_radians) * 60.0 # Convert to arcminutes

```

Catatan: Perhitungan W' Yallop memerlukan perhatian khusus pada definisi parameter h (altitude geosentris Bulan) dan π (paralaks Bulan) agar sesuai dengan formula asli Yallop. Implementasi di atas menggunakan altitude toposentris sebagai aproksimasi untuk h dalam perhitungan SD' jika altitude geosentris sulit diperoleh secara langsung dalam konteks Skyfield untuk formula spesifik ini. ARCL yang digunakan juga toposentris.

- `calculate_topocentric_crescent_width_odeh_W_arcmin(...)`: Kriteria Odeh juga menggunakan lebar sabit toposentris W dalam menit busur.¹¹ Jika definisi dan formula perhitungannya identik dengan W' Yallop, fungsi ini dapat memanggil `calculate_topocentric_crescent_width_yallop_W_prime_arcmin`. Jika ada perbedaan, formula spesifik Odeh perlu diimplementasikan. Berdasarkan ¹¹ dan ¹², Odeh menggunakan W (topocentric crescent width). Formula $V = \text{ARCV} - (-0.1018W^3 + \dots)$ menggunakan W dalam arcminute. Kemungkinan besar cara perhitungan W sama dengan W' Yallop.
- `calculate_daz_deg(sun_az_deg, moon_az_deg)`: Menghitung selisih azimuth (DAZ) antara Matahari dan Bulan.

Python

```
def calculate_daz_deg(sun_az_deg, moon_az_deg):  
    # Azimut is typically 0-360. Difference can be complex due to wrap-around.  
    # DAZ is often defined as Azimut_Sun - Azimut_Moon or vice-versa.  
    # For hilal, usually Moon is west of Sun, or slightly east.  
    # A simple difference might be sufficient if interpretation is consistent.  
    # Or, ensure it's the smallest angle between them.  
    diff = sun_az_deg - moon_az_deg  
    # Normalize to -180 to 180 for some definitions, or keep as is if criteria expect specific  
    order.  
    # For Odeh/Yallop, DAZ is usually positive.  
    return abs(diff) # Simplest form, actual definition might be more nuanced based on  
    criterion.
```

Dengan memusatkan semua perhitungan astronomis inti dalam modul `core_calculations.py`, kita memastikan konsistensi data, menghindari duplikasi kode, dan memudahkan pengujian serta pemeliharaan. Jika di masa depan ada pembaruan pada metode perhitungan atau ephemeris yang digunakan, perubahan hanya perlu dilakukan di satu tempat ini.

8.3.4 Desain Modul Kriteria (`hilal_criteria.py`)

Modul `hilal_criteria.py` akan berisi implementasi dari berbagai kriteria visibilitas hilal yang telah dibahas sebelumnya. Setiap kriteria akan diwujudkan sebagai fungsi terpisah yang menerima parameter-parameter astronomis yang relevan (dihasilkan oleh `core_calculations.py`) dan mengembalikan hasil prediksi visibilitas. Pemisahan logika setiap kriteria ke dalam fungsi tersendiri meningkatkan kejelasan kode dan memungkinkan penambahan atau modifikasi kriteria di masa depan tanpa mengganggu logika inti aplikasi.

Berikut adalah rancangan fungsi-fungsi untuk kriteria utama:

1. Fungsi Kriteria MABIMS Neo:

- `check_mabims_neo(moon_altitude_deg, elongation_deg)`: Menerima input ketinggian Bulan (derajat) dan elongasi geosentris (derajat). Mengembalikan `True` jika `moon_altitude_deg >= 3.0` DAN `elongation_deg >= 6.4`, dan `False` jika tidak.⁴

Python

```
def check_mabims_neo(moon_altitude_deg, elongation_deg):  
    if moon_altitude_deg is None or elongation_deg is None:
```

```

    return False, "Data tidak lengkap"
    if moon_altitude_deg >= 3.0 and elongation_deg >= 6.4:
        return True, "Hilal TERLIHAT berdasarkan kriteria MABIMS Neo (Tinggi: {:.2f}°, Elongasi: {:.2f}°)".format(moon_altitude_deg, elongation_deg)
    else:
        return False, "Hilal TIDAK TERLIHAT berdasarkan kriteria MABIMS Neo (Tinggi: {:.2f}°, Elongasi: {:.2f}°)".format(moon_altitude_deg, elongation_deg)

```

2. Fungsi Kriteria Odeh:

- `check_odeh(arcv_deg, crescent_width_arcmin)`: Menerima input ARCV toposentris (derajat) dan lebar sabit toposentris W (menit busur). Menghitung nilai V menggunakan formula Odeh:

$V = \text{ARCV} - (-0.1018W^3 + 0.7319W^2 - 6.3226W + 7.1651)$. Mengembalikan zona visibilitas ('A', 'B', 'C', 'D') atau deskripsi berdasarkan nilai V.¹¹

Python

```

def check_odeh(arcv_deg, crescent_width_arcmin):
    if arcv_deg is None or crescent_width_arcmin is None or crescent_width_arcmin
    <= 0: # W must be positive
        return "Data tidak lengkap atau tidak valid untuk Kriteria Odeh."

    # Pastikan W dalam batas yang wajar untuk polinomial, misal 0.01 hingga ~2.0 menit busur
    # Kriteria Odeh biasanya untuk sabit yang sangat tipis.
    w = crescent_width_arcmin

    # Formula V dari Odeh
    v_value = arcv_deg - (-0.1018 * w**3 + 0.7319 * w**2 - 6.3226 * w + 7.1651)

    result_text = "Parameter Odeh V = {:.2f} (ARCV: {:.2f}°, Lebar Sabit: {:.2f}°)".format(v_value, arcv_deg, w)

    if v_value >= 5.65:
        return result_text + "Zona A: Hilal terlihat dengan mata telanjang."
    elif 2.0 <= v_value < 5.65:
        return result_text + "Zona B: Hilal terlihat dengan alat bantu optik, mungkin terlihat mata telanjang."
    elif -0.96 <= v_value < 2.0:
        return result_text + "Zona C: Hilal hanya terlihat dengan alat bantu optik."
    else: # v_value < -0.96
        return result_text + "Zona D: Hilal tidak terlihat meskipun dengan alat bantu optik."

```

3. Fungsi Kriteria Yallop:

- `check_yallop(arcv_deg, crescent_width_prime_arcmin)`: Menerima input ARCV

geosentris (derajat) dan lebar sabit toposentris W' (menit busur). Menghitung nilai q menggunakan formula Yallop:

$q = (\text{ARCV} - (11.8371 - 6.3226W' + 0.7319W'^2 - 0.1018W'^3)) / 10$. Mengembalikan kategori visibilitas ('A' hingga 'F') atau deskripsi berdasarkan nilai q .¹³

Python

```
def check_yallop(arcv_deg, crescent_width_prime_arcmin):
    if arcv_deg is None or crescent_width_prime_arcmin is None or
    crescent_width_prime_arcmin <= 0:
        return "Data tidak lengkap atau tidak valid untuk Kriteria Yallop."

    w_prime = crescent_width_prime_arcmin

    # Formula q dari Yallop
    q_value = (arcv_deg - (11.8371 - 6.3226 * w_prime + 0.7319 * w_prime**2 - 0.1018 *
    w_prime**3)) / 10.0

    result_text = "Parameter Yallop q = {:.3f} (ARCV: {:.2f}°, Lebar Sabit W': {:.2f}')."
    ".format(q_value, arcv_deg, w_prime)

    if q_value > 0.216:
        return result_text + "Kategori A: Mudah terlihat dengan mata telanjang."
    elif q_value > -0.014: # +0.216 >= q > -0.014
        return result_text + "Kategori B: Terlihat dalam kondisi atmosfer sempurna."
    elif q_value > -0.160: # -0.014 >= q > -0.160
        return result_text + "Kategori C: Mungkin memerlukan alat bantu optik untuk
menemukannya."
    elif q_value > -0.232: # -0.160 >= q > -0.232
        return result_text + "Kategori D: Hanya terlihat dengan alat bantu optik."
    elif q_value > -0.293: # -0.232 >= q > -0.293
        return result_text + "Kategori E: Tidak terlihat dengan teleskop konvensional."
    else: # q_value <= -0.293
        return result_text + "Kategori F: Tidak terlihat, di bawah batas Danjon."
```

4. Fungsi Kriteria Danjon:

- `check_danjon(elongation_deg)`: Menerima input elongasi geosentris (derajat). Mengembalikan True jika elongation_deg >= 7.0, dan False jika tidak.¹

Python

```
def check_danjon(elongation_deg):
    if elongation_deg is None:
        return False, "Data elongasi tidak lengkap."
    if elongation_deg >= 7.0:
        return True, "Memenuhi Batas Danjon (Elongasi: {:.2f}° >= 7°)".format(elongation_deg)
```



```

else:
    return False, "Tidak Memenuhi Batas Danjon (Elongasi: {:.2f}° <
7°)".format(elongation_deg)

```

5. Fungsi Kriteria Wujudul Hilal (Muhammadiyah):

- `check_wujudul_hilal(moon_altitude_deg, conjunction_before_sunset, moon_sets_after_sun)`: Menerima input altitude Bulan toposentris saat Matahari terbenam, boolean apakah konjungsi terjadi sebelum Matahari terbenam, dan boolean apakah Bulan terbenam setelah Matahari terbenam. Mengembalikan True jika semua kondisi terpenuhi (altitude Bulan > 0, konjungsi sebelum sunset, Bulan terbenam setelah Matahari).⁸

Python

```

def check_wujudul_hilal(moon_altitude_deg, conjunction_before_sunset, moon_sets_after_sun):
    # conjunction_before_sunset: boolean
    # moon_sets_after_sun: boolean (dapat dicek dari lag_time > 0)
    if moon_altitude_deg is None or conjunction_before_sunset is None or
moon_sets_after_sun is None:
        return False, "Data tidak lengkap untuk Wujudul Hilal."

```

```

    if moon_altitude_deg > 0 and conjunction_before_sunset and
moon_sets_after_sun:
        return True, "Hilal WUJUD berdasarkan kriteria Wujudul Hilal (Tinggi: {:.2f}° > 0, ijtima
sebelum ghurub, Bulan terbenam setelah Matahari)".format(moon_altitude_deg)
    else:
        reasons =
        if not moon_altitude_deg > 0: reasons.append("Tinggi {:.2f}° <=
0".format(moon_altitude_deg))
        if not conjunction_before_sunset: reasons.append(" ijtima
setelah ghurub")
        if not moon_sets_after_sun: reasons.append("Bulan terbenam sebelum Matahari")
        return False, "Hilal TIDAK WUJUD berdasarkan kriteria Wujudul Hilal
({reason})".format(moon_altitude_deg, reason=", ".join(reasons))

```

Setiap fungsi kriteria harus dirancang untuk menerima parameter yang sudah dihitung dan divalidasi oleh `core_calculations.py`. Ini memastikan bahwa logika kriteria tetap bersih dan fokus pada evaluasi aturan spesifiknya. Fleksibilitas ini memungkinkan pengguna untuk memilih kriteria yang ingin mereka gunakan, atau bahkan membandingkan hasil dari beberapa kriteria untuk satu set kondisi observasi. Jika kriteria baru muncul atau ada pembaruan pada kriteria yang ada, pengembang hanya perlu menambahkan atau memodifikasi fungsi yang relevan di modul ini.

8.3.5 Desain Modul Utilitas (utils.py)

Modul utils.py (opsional namun direkomendasikan) berfungsi sebagai tempat untuk fungsi-fungsi pendukung umum yang mungkin dibutuhkan di berbagai bagian aplikasi. Tujuannya adalah untuk menjaga kode utama di modul lain tetap bersih, menghindari duplikasi, dan mempromosikan penggunaan kembali kode.

Beberapa fungsi yang dapat dimasukkan ke dalam modul ini antara lain:

1. Fungsi Konversi Unit:

- Meskipun Skyfield dan AstroPy menangani banyak konversi unit secara internal (misalnya, objek Angle Skyfield memiliki metode .degrees, .radians, .dms(), .hms()), mungkin ada kebutuhan spesifik untuk format output tertentu atau konversi yang tidak secara langsung disediakan.
- Contoh: format_degrees_to_dms_str(degrees) untuk menghasilkan string Derajat-Menit-Detik yang diformat khusus.

2. Fungsi Logging:

- Mengkonfigurasi dan menyediakan fungsi logging standar (menggunakan modul logging Python) untuk mencatat aktivitas aplikasi, pesan debug, peringatan, atau error. Ini sangat berguna selama pengembangan dan untuk diagnosis masalah saat aplikasi digunakan.

```
Python
import logging

def setup_logger(name, log_file, level=logging.INFO):
    formatter = logging.Formatter('%(asctime)s %(levelname)s %(message)s')
    handler = logging.FileHandler(log_file)
    handler.setFormatter(formatter)

    logger = logging.getLogger(name)
    logger.setLevel(level)
    logger.addHandler(handler)
    return logger
```

3. Fungsi Pemformatan Output Teks:

- Fungsi untuk memformat hasil prediksi atau parameter astronomis menjadi string yang rapi dan mudah dibaca untuk ditampilkan di CLI atau GUI.

4. Fungsi Validasi Input Tambahan:

- Meskipun argparse dan widget GUI dapat melakukan validasi dasar, mungkin ada aturan validasi yang lebih kompleks (misalnya, memastikan rentang

tanggal masuk akal untuk ephemeris yang digunakan) yang dapat ditempatkan di sini.

Dengan mengisolasi fungsionalitas pendukung ini, modul-modul inti seperti `core_calculations.py` dan `hilal_criteria.py` dapat lebih fokus pada logika utama mereka, yang pada akhirnya meningkatkan keterbacaan dan pemeliharaan kode secara keseluruhan.

8.4 Pengembangan: Antarmuka Sederhana (CLI atau GUI dasar dengan Tkinter/PyQt)

Setelah merancang modul inti dan kriteria, langkah selanjutnya adalah mengembangkan antarmuka pengguna (UI) agar pengguna dapat berinteraksi dengan aplikasi. Dua pendekatan umum adalah Antarmuka Baris Perintah (CLI) dan Antarmuka Grafis Pengguna (GUI).

8.4.1 Membangun Antarmuka Baris Perintah (CLI)

CLI adalah cara yang cepat dan efisien untuk berinteraksi dengan logika inti aplikasi, sangat berguna untuk pengujian, otomatisasi, dan pengguna yang memiliki pemahaman teknis. Python menyediakan pustaka `argparse` (bagian dari pustaka standar) yang memudahkan pembuatan CLI yang fungsional dengan parsing argumen dan pembuatan pesan bantuan otomatis.⁴⁸

Struktur Perintah dan Argumen:

Perintah CLI dapat dirancang sebagai berikut:

```
python main_cli.py --tanggal YYYY-MM-DD --lintang LAT --bujur LON --elevasi ELE --kriteria  
KRITERIA[--output-file FILE]
```

Argumen yang dibutuhkan meliputi:

- `--tanggal`: Tanggal pengamatan dalam format YYYY-MM-DD (wajib).
- `--lintang`: Lintang geografis pengamat dalam derajat desimal (wajib). Nilai positif untuk Lintang Utara, negatif untuk Lintang Selatan.
- `--bujur`: Bujur geografis pengamat dalam derajat desimal (wajib). Nilai positif untuk Bujur Timur, negatif untuk Bujur Barat.
- `--elevasi`: Elevasi tempat pengamatan dalam meter di atas permukaan laut (wajib).
- `--kriteria`: Pilihan kriteria visibilitas yang akan digunakan (misalnya, 'mabims_neo', 'odeh', 'yallop', 'danjon', 'wujudul_hilal') (wajib).
- `--waktu` (opsional): Waktu pengamatan dalam format HH:MM:SS (UTC). Jika tidak disediakan, aplikasi dapat default ke waktu Matahari terbenam (Maghrib) lokal.

pada tanggal tersebut. Perhitungan Maghrib lokal memerlukan fungsi tambahan yang mencari waktu Matahari terbenam menggunakan `almanac.find_settings` dari `Skyfield`.

- `--output-file` (opsional): Nama file untuk menyimpan hasil prediksi.

Implementasi dengan `argparse`:

File `main_cli.py` akan berisi logika untuk parsing argumen ini.

Python

```
# main_cli.py
import argparse
from datetime import datetime
from hilal_app import core_calculations, hilal_criteria, utils # Asumsi modul ada di hilal_app

def main():
    parser = argparse.ArgumentParser(description="Aplikasi Prediksi Visibilitas Hilal")
    parser.add_argument("--tanggal", required=True, help="Tanggal pengamatan (YYYY-MM-DD)")
    parser.add_argument("--lintang", type=float, required=True, help="Lintang geografis (derajat, LU positif)")
    parser.add_argument("--bujur", type=float, required=True, help="Bujur geografis (derajat, BT positif)")
    parser.add_argument("--elevasi", type=float, required=True, help="Elevasi (meter dpl)")
    parser.add_argument("--kriteria",
                        choices=['mabims_neo', 'odeh', 'yallop', 'danjon', 'wujudul_hilal'],
                        required=True,
                        help="Kriteria visibilitas yang digunakan")
    parser.add_argument("--waktu", help="Waktu pengamatan UTC (HH:MM:SS). Default: Maghrib lokal.")
    # Tambahkan argumen lain jika perlu

    args = parser.parse_args()

    # 1. Inisialisasi Skyfield
    ts, eph = core_calculations.setup_astronomy() # Default ephemeris

    # 2. Buat objek pengamat
```

```
observer = core_calculations.create_observer(args.lintang, args.bujur, args.elevasi,
eph)
```

```
# 3. Tentukan waktu observasi
```

```
try:
```

```
    obs_datetime_utc = datetime.strptime(f"{args.tanggal} {args.waktu if args.waktu else
'12:00:00'}", "%Y-%m-%d %H:%M:%S")
```

```
    # Jika waktu tidak diberikan, hitung waktu Maghrib
```

```
    if not args.waktu:
```

```
        # Cari waktu Maghrib (sunset)
```

```
        t_day_start = ts.utc(obs_datetime_utc.year, obs_datetime_utc.month,
obs_datetime_utc.day, 0)
```

```
        t_day_end = ts.utc(obs_datetime_utc.year, obs_datetime_utc.month,
obs_datetime_utc.day, 23, 59, 59)
```

```
        sunset_times, _ = core_calculations.almanac.find_settings(observer, eph['sun'],
t_day_start, t_day_end)
```

```
        if sunset_times.shape > 0:
```

```
            observation_time = sunset_times
```

```
            print(f"Info: Menggunakan waktu Maghrib lokal: {observation_time.utc_strftime('%Y-%m-
%d %H:%M:%S')} UTC")
```

```
        else:
```

```
            print("Error: Tidak dapat menentukan waktu Maghrib. Gunakan argumen --waktu.")
```

```
            return
```

```
    else:
```

```
        observation_time = ts.utc(obs_datetime_utc.year, obs_datetime_utc.month,
obs_datetime_utc.day,
```

```
                                obs_datetime_utc.hour, obs_datetime_utc.minute,
obs_datetime_utc.second)
```

```
    except ValueError:
```

```
        print("Format tanggal atau waktu salah. Gunakan YYYY-MM-DD dan HH:MM:SS.")
```

```
    return
```

```
# 4. Hitung parameter astronomis
```

```
sun_alt, sun_az, _ = core_calculations.get_celestial_body_altaz('sun', observer,
observation_time, eph)
```

```
moon_alt, moon_az, _ = core_calculations.get_celestial_body_altaz('moon', observer,
observation_time, eph)
```

```

last_conjunction_time =
core_calculations.get_last_geocentric_conjunction_time(observation_time, eph)
moon_age_hr = core_calculations.calculate_moon_age_hours(observation_time,
last_conjunction_time)
geocentric_elong_deg =
core_calculations.calculate_geocentric_elongation_deg(observation_time, eph)

# Untuk ARCV dan W', perlu waktu sunset yang tepat
# Asumsikan observation_time sudah diset ke waktu sunset jika args.waktu tidak ada
# Jika args.waktu ada, maka perhitungan ARCV dan W' dilakukan pada waktu tersebut

# Altitude Matahari dan Bulan pada waktu observasi (sudah dihitung di atas)
sun_alt_deg = sun_alt.degrees
moon_alt_deg = moon_alt.degrees

arcv_deg = core_calculations.calculate_topocentric_arcv_deg(sun_alt_deg,
moon_alt_deg)

# Perhitungan W' Yallop (membutuhkan ARCL toposentris)
# ARCL toposentris dihitung dalam fungsi
calculate_topocentric_crescent_width_yallop_W_prime_arcmin
w_prime_yallop =
core_calculations.calculate_topocentric_crescent_width_yallop_W_prime_arcmin(obs
erver, observation_time, eph)

# Perhitungan W Odeh (asumsi sama dengan Yallop untuk saat ini)
w_odeh = w_prime_yallop

# Parameter untuk Wujudul Hilal
conjunction_before_sunset = False
if last_conjunction_time:
    # Asumsi observation_time adalah waktu sunset jika tidak dispesifikkan
    conjunction_before_sunset = last_conjunction_time.tt < observation_time.tt

lag_time_min = core_calculations.calculate_moon_lag_time_minutes(observer,
observation_time, eph, ts)
moon_sets_after_sun = lag_time_min is not None and lag_time_min > 0

print(f"\n--- Parameter Astronomis pada {observation_time.utc_strftime('%Y-%m-%d

```

```

%H:%M:%S')) UTC ---")
    print(f"Lokasi: Lat {args.lintang:.4f}°, Lon {args.bujur:.4f}°, Elev {args.elevasi:.0f}m")
    print(f"Altitude Matahari: {sun_alt_deg:.2f}° (Geometris)")
    print(f"Altitude Bulan: {moon_alt_deg:.2f}° (Geometris)")
    if last_conjunction_time:
        print(f"Konjungsi Geosentris Terakhir: {last_conjunction_time.ctime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')) UTC}")
    print(f"Usia Bulan: {moon_age_hr:.2f} jam (jika konjungsi ditemukan)" if moon_age_hr is not None else "Usia Bulan: Tidak dapat dihitung")
    print(f"Elongasi Geosentris: {geocentric_elong_deg:.2f}°")
    print(f"ARCV Toposentris: {arcv_deg:.2f}°")
    print(f"Lebar Sabit (W' Yallop): {w_prime_yallop:.2f}" if w_prime_yallop is not None else "Lebar Sabit (W' Yallop): Tidak dapat dihitung")
    print(f"Lebar Sabit (W Odeh): {w_odeh:.2f}" if w_odeh is not None else "Lebar Sabit (W Odeh): Tidak dapat dihitung")
    print(f"Lag Time Bulan: {lag_time_min:.1f} menit" if lag_time_min is not None else "Lag Time Bulan: Tidak dapat dihitung")

```

```

# 5. Panggil fungsi kriteria yang sesuai
hasil_prediksi = "Kriteria tidak dikenal."
if args.kriteria == 'mabims_neo':
    status, hasil_prediksi = hilal_criteria.check_mabims_neo(moon_alt_deg,
geocentric_elong_deg)
elif args.kriteria == 'odeh':
    hasil_prediksi = hilal_criteria.check_odeh(arcv_deg, w_odeh)
elif args.kriteria == 'yallop':
    # Kriteria Yallop menggunakan ARCV geosentris. Perlu penyesuaian jika arcv_deg di atas adalah
toposentris.
    # Untuk Yallop, ARCV adalah "geocentric difference in altitude".
    # Perlu dihitung ulang ARCV secara geosentris jika berbeda signifikan.
    # Namun, banyak implementasi praktis menggunakan ARCV toposentris untuk Yallop juga.
    # Asumsikan arcv_deg (toposentris) dapat digunakan sebagai input untuk Yallop di sini.
    hasil_prediksi = hilal_criteria.check_yallop(arcv_deg, w_prime_yallop)
elif args.kriteria == 'danjon':
    status, hasil_prediksi = hilal_criteria.check_danjon(geocentric_elong_deg)
elif args.kriteria == 'wujudul_hilal':
    status, hasil_prediksi = hilal_criteria.check_wujudul_hilal(moon_alt_deg,

```



```
conjunction_before_sunset, moon_sets_after_sun)
```

```
# 6. Cetak hasil
```

```
print(f"\n--- Hasil Prediksi Menggunakan Kriteria: {args.kriteria.upper()} ---")  
print(hasil_prediksi)
```

```
if __name__ == "__main__":  
    main()
```

Pustaka `argparse` secara otomatis menghasilkan pesan bantuan (`-h` atau `--help`) yang menjelaskan semua argumen yang tersedia dan cara penggunaannya.⁴⁹ CLI ini menyediakan fondasi yang kuat, memungkinkan pengguna untuk dengan cepat mendapatkan prediksi hilal dari terminal.

8.4.2 Membangun Antarmuka Grafis Pengguna (GUI) Dasar

Untuk membuat aplikasi lebih mudah diakses oleh pengguna non-teknis, GUI dapat dikembangkan. Python menawarkan beberapa pilihan pustaka untuk membangun GUI, di antaranya **Tkinter** (bagian dari pustaka standar, ringan, cocok untuk GUI sederhana) dan **PyQt** (binding Python untuk Qt framework, lebih kuat dan kaya fitur, cocok untuk aplikasi kompleks, namun mungkin memerlukan instalasi terpisah).⁵⁰ Untuk tujuan "GUI dasar" dalam bab ini, **Tkinter** dapat menjadi pilihan yang memadai karena tidak memerlukan instalasi tambahan dan relatif mudah dipelajari untuk antarmuka sederhana.

Desain Jendela Utama (Contoh dengan Tkinter):

Jendela utama aplikasi akan terdiri dari beberapa elemen:

- **Input Fields:**
 - Tanggal: Entry widget untuk Tahun (YYYY), Bulan (MM), Hari (DD).
 - Waktu (opsional): Entry widget untuk Jam (HH), Menit (MM), Detik (SS) dalam UTC. Jika kosong, default ke waktu Maghrib lokal.
 - Lokasi: Entry widget untuk Lintang (derajat), Bujur (derajat), Elevasi (meter).
- **Pilihan Kriteria:**
 - Dropdown menu (misalnya, `ttk.Combobox` atau `OptionMenu`) untuk memilih kriteria hilal (MABIMS Neo, Odeh, Yallop, Danjon, Wujudul Hilal).
- **Tombol Aksi:**
 - Tombol "Prediksi" untuk memulai perhitungan.
- **Area Output:**

- Area teks (misalnya, Text widget atau beberapa Label) untuk menampilkan hasil prediksi (misalnya, "Hilal TERLIHAT/TIDAK TERLIHAT") dan parameter-parameter kunci yang dihitung (ketinggian Bulan, elongasi, usia Bulan, ARCV, W', dll.).

Struktur Kode dan Interaksi dengan Backend (Contoh dengan Tkinter di main_gui.py):

Python

```
# main_gui.py
import tkinter as tk
from tkinter import ttk, messagebox
from datetime import datetime
from hilal_app import core_calculations, hilal_criteria # Asumsi modul ada di hilal_app

class HilalAppGUI:
    def __init__(self, master):
        self.master = master
        master.title("Aplikasi Prediksi Hilal")

        # Inisialisasi Skyfield (dilakukan sekali)
        self.ts, self.eph = core_calculations.setup_astronomy()

        # Input Fields
        ttk.Label(master, text="Tanggal (YYYY-MM-DD):").grid(row=0, column=0, sticky=tk.W,
padx=5, pady=2)
        self.entry_tanggal = ttk.Entry(master, width=15)
        self.entry_tanggal.grid(row=0, column=1, padx=5, pady=2)
        self.entry_tanggal.insert(0, datetime.now().strftime("%Y-%m-%d"))

        ttk.Label(master, text="Waktu UTC (HH:MM:SS, opsional):").grid(row=1, column=0,
sticky=tk.W, padx=5, pady=2)
        self.entry_waktu = ttk.Entry(master, width=15)
        self.entry_waktu.grid(row=1, column=1, padx=5, pady=2)

        ttk.Label(master, text="Lintang (derajat):").grid(row=2, column=0, sticky=tk.W,
padx=5, pady=2)
        self.entry_lintang = ttk.Entry(master, width=15)
```

```

self.entry_lintang.grid(row=2, column=1, padx=5, pady=2)
self.entry_lintang.insert(0, "0.0") # Contoh default

ttk.Label(master, text="Bujur (derajat):").grid(row=3, column=0, sticky=tk.W, padx=5,
pady=2)
self.entry_bujur = ttk.Entry(master, width=15)
self.entry_bujur.grid(row=3, column=1, padx=5, pady=2)
self.entry_bujur.insert(0, "0.0") # Contoh default

ttk.Label(master, text="Elevasi (meter):").grid(row=4, column=0, sticky=tk.W,
padx=5, pady=2)
self.entry_elevasi = ttk.Entry(master, width=15)
self.entry_elevasi.grid(row=4, column=1, padx=5, pady=2)
self.entry_elevasi.insert(0, "0") # Contoh default

ttk.Label(master, text="Kriteria:").grid(row=5, column=0, sticky=tk.W, padx=5,
pady=2)
self.kriteria_var = tk.StringVar()
self.combo_kriteria = ttk.Combobox(master, textvariable=self.kriteria_var,
width=20,
                                values=['mabims_neo', 'odeh', 'yallop', 'danjon', 'wujudul_hilal'])
self.combo_kriteria.grid(row=5, column=1, padx=5, pady=2)
self.combo_kriteria.current(0) # Default MABIMS Neo

# Tombol Prediksi
self.btn_prediksi = ttk.Button(master, text="Prediksi",
command=self.lakukan_prediksi)
self.btn_prediksi.grid(row=6, column=0, columnspan=2, pady=10)

# Area Output
ttk.Label(master, text="Hasil Prediksi:").grid(row=7, column=0, sticky=tk.W, padx=5,
pady=2)
self.text_hasil = tk.Text(master, height=15, width=60, wrap=tk.WORD)
self.text_hasil.grid(row=8, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)

# Scrollbar untuk Text widget
scrollbar = ttk.Scrollbar(master, command=self.text_hasil.yview)
scrollbar.grid(row=8, column=2, sticky='nsew')

```

```

self.text_hasil['yscrollcommand'] = scrollbar.set

def tampilkan_hasil(self, pesan):
    self.text_hasil.config(state=tk.NORMAL)
    self.text_hasil.delete(1.0, tk.END)
    self.text_hasil.insert(tk.END, pesan)
    self.text_hasil.config(state=tk.DISABLED)

def lakukan_prediksi(self):
    try:
        tanggal_str = self.entry_tanggal.get()
        waktu_str = self.entry_waktu.get()
        lintang = float(self.entry_lintang.get())
        bujur = float(self.entry_bujur.get())
        elevasi = float(self.entry_elevasi.get())
        kriteria_pilihan = self.kriteria_var.get()

        observer = core_calculations.create_observer(lintang, bujur, elevasi, self.eph)

        obs_datetime_utc_str = f"{tanggal_str} {waktu_str if waktu_str else '12:00:00'}"
        obs_datetime_utc = datetime.strptime(obs_datetime_utc_str, "%Y-%m-%d
%H:%M:%S")

        if not waktu_str: # Default ke Maghrib jika waktu kosong
            t_day_start = self.ts.utc(obs_datetime_utc.year, obs_datetime_utc.month,
obs_datetime_utc.day, 0)
            t_day_end = self.ts.utc(obs_datetime_utc.year, obs_datetime_utc.month,
obs_datetime_utc.day, 23, 59, 59)
            sunset_times, _ = core_calculations.almanac.find_settings(observer,
self.eph['sun'], t_day_start, t_day_end)
            if sunset_times.shape > 0:
                observation_time = sunset_times
                self.tampilkan_hasil(f"Info: Menggunakan waktu Maghrib lokal:
{observation_time.utc.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')} UTC\n\n")
            else:
                messagebox.showerror("Error", "Tidak dapat menentukan waktu Maghrib.")
        return
    except:

```

```

        observation_time = self.ts.utc(obs_datetime_utc.year,
obs_datetime_utc.month, obs_datetime_utc.day,
        obs_datetime_utc.hour, obs_datetime_utc.minute,
obs_datetime_utc.second)

        # Hitung parameter (sama seperti di CLI, disingkat untuk contoh)
        sun_alt, sun_az, _ = core_calculations.get_celestial_body_altaz('sun', observer,
observation_time, self.eph)
        moon_alt, moon_az, _ = core_calculations.get_celestial_body_altaz('moon',
observer, observation_time, self.eph)
        last_conjunction_time =
core_calculations.get_last_geocentric_conjunction_time(observation_time, self.eph)
        moon_age_hr =
core_calculations.calculate_moon_age_hours(observation_time,
last_conjunction_time)
        geocentric_elong_deg =
core_calculations.calculate_geocentric_elongation_deg(observation_time, self.eph)
        sun_alt_deg = sun_alt.degrees
        moon_alt_deg = moon_alt.degrees
        arcv_deg = core_calculations.calculate_topocentric_arcv_deg(sun_alt_deg,
moon_alt_deg)
        w_prime_yallop =
core_calculations.calculate_topocentric_crescent_width_yallop_W_prime_arcmin(obs
erver, observation_time, self.eph)
        w_odeh = w_prime_yallop # Asumsi

        lag_time_min = core_calculations.calculate_moon_lag_time_minutes(observer,
observation_time, self.eph, self.ts)
        moon_sets_after_sun = lag_time_min is not None and lag_time_min > 0
        conjunction_before_sunset = False
        if last_conjunction_time:
            conjunction_before_sunset = last_conjunction_time.tt < observation_time.tt

        # Tampilkan parameter
        params_text = f"--- Parameter Astronomis pada {observation_time.utc_strftime('%Y-%m-
%d %H:%M:%S')} UTC ---\n"
        params_text += f"Lokasi: Lat {lintang:.4f}°, Lon {bujur:.4f}°, Elev {elevasi:.0f}m\n"
        params_text += f"Altitude Matahari: {sun_alt_deg:.2f}°\n"

```

```

        params_text += f"Altitude Bulan: {moon_alt_deg:.2f}°\n"
    if last_conjunction_time:
        params_text += f"Konjungsi Geosentris Terakhir:
{last_conjunction_time.ctime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')} UTC\n"
        params_text += f"Usia Bulan: {moon_age_hr:.2f} jam\n" if moon_age_hr is not None else
"Usia Bulan: Tidak dapat dihitung\n"
        params_text += f"Elongasi Geosentris: {geocentric_elong_deg:.2f}°\n"
        params_text += f"ARCV Toposentris: {arcv_deg:.2f}°\n"
        params_text += f"Lebar Sabit (W' Yallop): {w_prime_yallop:.2f}°\n" if w_prime_yallop is
not None else "Lebar Sabit (W' Yallop): Tidak dapat dihitung\n"
        params_text += f"Lag Time Bulan: {lag_time_min:.1f} menit\n\n" if lag_time_min is not
None else "Lag Time Bulan: Tidak dapat dihitung\n\n"

    # Panggil kriteria
    hasil_kriteria = "Kriteria tidak valid."
    if kriteria_pilihan == 'mabims_neo':
        _, hasil_kriteria = hilal_criteria.check_mabims_neo(moon_alt_deg,
geocentric_elong_deg)
    elif kriteria_pilihan == 'odeh':
        hasil_kriteria = hilal_criteria.check_odeh(arcv_deg, w_odeh)
    elif kriteria_pilihan == 'yallop':
        hasil_kriteria = hilal_criteria.check_yallop(arcv_deg, w_prime_yallop)
    elif kriteria_pilihan == 'danjon':
        _, hasil_kriteria = hilal_criteria.check_danjon(geocentric_elong_deg)
    elif kriteria_pilihan == 'wujudul_hilal':
        _, hasil_kriteria = hilal_criteria.check_wujudul_hilal(moon_alt_deg,
conjunction_before_sunset, moon_sets_after_sun)

    self.tampilkan_hasil(params_text + f"--- Hasil Prediksi ({kriteria_pilihan.upper()}) ---\n"
+ hasil_kriteria)

except ValueError as e:
    messagebox.showerror("Error Input", f"Input tidak valid: {e}")
except Exception as e:
    messagebox.showerror("Error", f"Terjadi kesalahan: {e}")

if __name__ == "__main__":
    root = tk.Tk()

```

```
app = HilalAppGUI(root)
root.mainloop()
```

Dalam implementasi GUI, fungsi `lakukan_prediksi` akan menjadi *callback* yang dipanggil ketika tombol "Prediksi" ditekan. Fungsi ini akan mengambil semua nilai dari input field, melakukan validasi dasar, mengonversinya ke format yang sesuai, kemudian memanggil fungsi-fungsi dari modul `core_calculations.py` dan `hilal_criteria.py` (yang sudah dirancang sebelumnya). Hasilnya kemudian ditampilkan di area output GUI. Pemisahan logika UI dari logika bisnis (perhitungan astronomi dan kriteria) sangat penting. Ini memungkinkan UI diubah atau bahkan diganti (misalnya, dari Tkinter ke PyQt, atau ke antarmuka web) di masa depan tanpa perlu mengubah logika inti aplikasi secara signifikan. Meskipun pengembangan GUI menambah kompleksitas, antarmuka yang dirancang dengan baik akan membuat aplikasi lebih mudah digunakan oleh audiens yang lebih luas.

Jika menggunakan PyQt, Qt Designer dapat dimanfaatkan untuk merancang antarmuka secara visual, yang kemudian dapat dikonversi menjadi kode Python (.ui ke .py).⁵⁰ Logika interaksi (sinyal dan slot) kemudian ditambahkan ke kode Python tersebut.

8.5 Visualisasi: Hasil Prediksi (Peta Visibilitas, Grafik Posisi Hilal)

Visualisasi data adalah aspek penting untuk menyajikan hasil prediksi hilal secara lebih intuitif dan mudah dipahami. Dua jenis visualisasi utama yang akan dibahas adalah grafik posisi relatif hilal dan peta visibilitas hilal global.

8.5.1 Membuat Grafik Posisi Relatif Hilal

Grafik posisi relatif hilal memberikan representasi visual tentang posisi Bulan terhadap Matahari dan ufuk pada saat pengamatan (biasanya saat Matahari terbenam). Ini membantu pengguna, terutama yang awam, untuk memahami kondisi geometris yang memengaruhi visibilitas hilal, melengkapi output tekstual "terlihat/tidak terlihat".

Pustaka yang Digunakan:

Matplotlib, khususnya modul `pyplot`, adalah pustaka standar de-facto untuk plotting 2D di Python dan sangat cocok untuk tugas ini.⁵²

Data yang Diperlukan:

Untuk membuat grafik ini, data berikut dari modul `core_calculations.py` akan dibutuhkan:

1. Waktu Matahari terbenam (sunset) lokal untuk tanggal dan lokasi pengamat,

- dihitung menggunakan `almanac.find_settings(observer, sun, t_start, t_end)`.
2. Altitude dan azimut Bulan (toposentris geometris) pada waktu sunset tersebut.
 3. Altitude dan azimut Matahari (toposentris geometris) pada waktu sunset tersebut. Idealnya, altitude Matahari akan mendekati 0° atau sedikit di bawahnya, sesuai definisi sunset yang digunakan Skyfield (biasanya -0.8333° untuk memperhitungkan radius Matahari dan refraksi standar, atau -0.5667° untuk bagian atas piringan Matahari di ufuk geometris).
 4. Parameter kunci lainnya seperti elongasi (ARCL), ARCV, dan beda azimut (DAZ) antara Bulan dan Matahari pada waktu tersebut.

Implementasi Visualisasi:

Grafik akan berupa plot 2D dengan:

- **Sumbu X:** Azimut, biasanya difokuskan pada sektor barat (misalnya, dari Tenggara sekitar 120° hingga Barat Daya sekitar 240°).
- **Sumbu Y:** Altitude, dari ufuk (0°) hingga ketinggian tertentu yang relevan (misalnya, 0° hingga 15° atau 20°).

Langkah-langkah implementasi menggunakan Matplotlib:

1. Siapkan data altitude dan azimut Bulan dan Matahari pada waktu sunset.
2. Buat objek figure dan axes menggunakan `plt.figure()` dan `fig.add_subplot()` atau `plt.subplots()`.
3. Gunakan `ax.plot()` atau `ax.scatter()` untuk menandai posisi Bulan (misalnya, dengan simbol bulan sabit jika memungkinkan, atau titik berwarna) dan Matahari (jika masih relevan untuk ditampilkan, atau cukup garis horison).
4. Set label sumbu X (`plt.xlabel('Azimut (derajat)')`) dan Y (`plt.ylabel('Altitude (derajat)')`).
5. Set judul grafik (`plt.title('Posisi Relatif Hilal saat Matahari Terbenam')`).
6. Tambahkan garis horison pada altitude 0° untuk merepresentasikan ufuk.
7. Gunakan `plt.annotate()` untuk menambahkan teks anotasi pada grafik yang menunjukkan nilai parameter kunci seperti tinggi Bulan, elongasi, ARCV, dan DAZ di dekat posisi Bulan.
8. Tampilkan grafik menggunakan `plt.show()` atau simpan ke file menggunakan `plt.savefig()`.

Contoh Kerangka Kode (dalam fungsi yang dipanggil dari `main_cli.py` atau `main_gui.py`):

Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

def plot_hilal_position(moon_alt_deg, moon_az_deg, sun_alt_deg, sun_az_deg,
                        elongation_deg, arcv_deg, daz_deg, output_filename="hilal_position.png"):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))

    # Plot posisi Bulan
    ax.scatter(moon_az_deg, moon_alt_deg, s=100, color='yellow', edgecolor='black',
label=f"Bulan (Alt: {moon_alt_deg:.2f}°, Az: {moon_az_deg:.2f}°)")

    # Plot posisi Matahari (jika diinginkan, atau hanya garis ufuk)
    # ax.scatter(sun_az_deg, sun_alt_deg, s=100, color='orange', label=f"Matahari (Alt:
{sun_alt_deg:.2f}°, Az: {sun_az_deg:.2f}°)")

    # Garis Ufuk
    ax.axhline(0, color='blue', linestyle='--', label='Ufuk Astronomis')

    # Anotasi parameter
    annotation_text = (f"Elongasi: {elongation_deg:.2f}°\n"
                        f"ARCV: {arcv_deg:.2f}°\n"
                        f"DAZ: {daz_deg:.2f}°")
    ax.annotate(annotation_text, xy=(moon_az_deg, moon_alt_deg),
                xytext=(moon_az_deg + 2, moon_alt_deg + 1), # Offset teks
                arrowprops=dict(facecolor='black', shrink=0.05, width=0.5, headwidth=4),
                bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", fc="wheat", ec="black", lw=0.72))

    # Pengaturan Grafik
    ax.set_xlabel("Azimut (derajat dari Utara, searah jarum jam)")
    ax.set_ylabel("Altitude (derajat)")
    ax.set_title(f"Posisi Relatif Hilal dan Matahari saat Matahari Terbenam ({sun_alt_deg:.2f}°)")

    # Batas sumbu yang relevan (contoh)
    # Azimut difokuskan ke arah barat
    min_az = min(moon_az_deg, sun_az_deg) - 20
    max_az = max(moon_az_deg, sun_az_deg) + 20
    # Pastikan rentang azimut masuk akal, misal antara 180 (Selatan) hingga 300 (Barat Laut)
```

```

ax.set_xlim(max(150, min_az), min(300, max_az))
ax.set_ylim(min(-2, sun_alt_deg, moon_alt_deg - 1), max(15, moon_alt_deg + 5)) #
Altitude dari sedikit di bawah ufuk hingga di atas Bulan

ax.legend()
ax.grid(True, linestyle=':', alpha=0.7)

plt.savefig(output_filename)
print(f"Grafik posisi hilal disimpan sebagai {output_filename}")
# plt.show() # Tampilkan jika interaktif

```

Grafik semacam ini secara visual mengkomunikasikan informasi penting yang mungkin sulit dicerna hanya dari angka. Misalnya, pengguna dapat dengan cepat melihat apakah Bulan berada sangat rendah di ufuk atau sangat dekat dengan posisi Matahari terbenam, yang keduanya merupakan kondisi sulit untuk observasi.

8.5.2 Membuat Peta Visibilitas Hilal Global

Peta visibilitas hilal global adalah alat yang sangat informatif untuk menunjukkan wilayah di Bumi di mana hilal berpotensi terlihat pada tanggal tertentu setelah konjungsi. Peta ini biasanya menggunakan kriteria seperti Odeh atau Yallop dan membagi dunia menjadi zona-zona visibilitas (misalnya, terlihat dengan mata telanjang, terlihat dengan alat bantu optik, tidak terlihat).⁷ Pembuatan peta ini secara komputasi bisa intensif jika dilakukan dengan pendekatan *brute-force* (iterasi grid), namun metode analitik seperti "separator parabola function" menawarkan alternatif yang jauh lebih efisien.

Pustaka yang Digunakan:

- **Matplotlib:** Untuk plotting dasar dan pewarnaan zona.
- **Cartopy:** Pustaka khusus untuk membuat proyeksi peta geografis dan menambahkan fitur kartografi seperti garis pantai, batas negara, dan grid lintang/bujur.⁵⁴

Algoritma Dasar (Pendekatan Iterasi Grid):

Pendekatan ini, meskipun kurang efisien untuk resolusi tinggi, lebih mudah diimplementasikan secara konseptual:

1. **Tentukan Tanggal dan Kriteria:** Pilih tanggal spesifik setelah konjungsi geosentris dan kriteria visibilitas yang akan digunakan (misalnya, Odeh atau Yallop).

2. **Buat Grid Global:** Definisikan sebuah grid lintang dan bujur yang mencakup seluruh permukaan Bumi (atau wilayah yang diminati) dengan resolusi tertentu (misalnya, setiap 1x1 derajat, atau 0.5x0.5 derajat untuk detail lebih tinggi).
3. **Iterasi per Titik Grid:** Untuk setiap pasangan (lintang, bujur) pada grid:
 - a. Buat objek pengamat Skyfield untuk titik grid tersebut.
 - b. **Tentukan Waktu Terbaik Observasi Lokal:** Ini adalah langkah krusial. Menurut Yallop dan Odeh, waktu terbaik untuk observasi hilal adalah antara waktu Matahari terbenam lokal dan Bulan terbenam lokal. Formula yang sering digunakan adalah: Waktu Terbaik = Waktu Sunset Lokal + $(4/9) * (\text{Waktu Moonset Lokal} - \text{Waktu Sunset Lokal})$.¹¹ Perhitungan waktu sunset dan moonset lokal untuk setiap titik grid memerlukan pemanggilan `almanac.find_settings`.
 - c. **Hitung Parameter Astronomis:** Pada "waktu terbaik" tersebut untuk titik grid (lintang, bujur) saat ini, hitung semua parameter astronomis yang diperlukan oleh kriteria yang dipilih: * Altitude Bulan dan Matahari (toposentris geometris). * ARCL (elongasi, bisa geosentris atau toposentris tergantung definisi kriteria). * ARCV toposentris. * Lebar sabit W' (Yallop) atau W (Odeh) dalam menit busur. * DAZ (beda azimuth).
 - d. **Terapkan Kriteria Visibilitas:** Hitung nilai parameter kriteria (misalnya, nilai 'q' untuk Yallop atau 'V' untuk Odeh).
 - e. **Tentukan Zona Visibilitas:** Berdasarkan nilai parameter kriteria, tentukan zona visibilitas untuk titik grid tersebut (misalnya, Kategori A-F Yallop atau Zona A-D Odeh). Simpan kode zona ini dalam sebuah array 2D yang merepresentasikan peta.
4. **Plotting Peta:**
 - a. Gunakan Cartopy untuk membuat sumbu peta dengan proyeksi yang diinginkan (misalnya, `ccrs.PlateCarree()` untuk proyeksi silinder sederhana atau `ccrs.Robinson()` untuk tampilan global yang lebih estetik).
 - b. Tambahkan fitur peta seperti garis pantai (`ax.coastlines()`), batas negara (`ax.borders()`), dan grid lintang/bujur (`ax.gridlines()`).
 - c. Gunakan fungsi seperti `ax.contourf()` (untuk kontur terisi) atau `ax.pcolormesh()` dari Matplotlib untuk mewarnai peta berdasarkan array 2D zona visibilitas yang telah dihitung. Setiap zona akan diberi warna yang berbeda sesuai legenda.
 - d. Tambahkan legenda yang menjelaskan arti setiap warna/zona.

Alternatif: "Separator Parabola Function"

Seperti yang telah disinggung, metode iterasi grid bisa sangat lambat. Penelitian oleh Özlem (2024) 5366 mendeskripsikan pendekatan analitik untuk menghitung "separator parabola function". Metode ini secara langsung menghitung kurva batas antara zona-zona visibilitas. Kurva ini cenderung berbentuk parabola di peta.

- **Konsep:** Daripada mengevaluasi setiap titik, fungsi ini mencari solusi analitik untuk garis di mana nilai kriteria (misalnya, q Yallop atau V Odeh) sama dengan ambang

batas antar zona.

- **Keuntungan:** Pengurangan waktu komputasi yang drastis, memungkinkan pembuatan peta resolusi tinggi dalam hitungan detik.
- **Kompleksitas:** Implementasi matematisnya lebih rumit, melibatkan penurunan dan penyelesaian persamaan berdasarkan parameter orbit dan kriteria. Untuk aplikasi yang membutuhkan performa tinggi atau generasi peta dinamis, menginvestasikan waktu untuk mengimplementasikan metode analitik ini sangat dianjurkan. Repositori GitHub [crescent-moon-visibility](#) ⁵⁵ menggunakan mesin C++ (kemungkinan dengan logika serupa atau pendekatan efisien lainnya) untuk menghasilkan peta visibilitas dan bisa menjadi referensi, meskipun bab ini berfokus pada implementasi Python. Pustaka HilalPy ⁴¹ juga ada, namun mungkin menggunakan PyEphem yang sudah usang.

Tabel Zona Visibilitas:

Untuk membantu interpretasi peta, sebuah tabel legenda sangat berguna.

Tabel 8.5.1: Kategori Zona pada Peta Visibilitas Hilal (Contoh berdasarkan Kriteria Odeh dan Yallop)

Kode Warna/Arsiran	Kategori Visibilitas (Deskripsi)	Rentang Nilai V (Odeh)	Rentang Nilai q (Yallop)
Hijau Terang	Mudah Terlihat Mata Telanjang	$V \geq 5.65$	$q > +0.216$
Hijau Muda	Terlihat Mata Telanjang (Kondisi Sempurna) / Optik, Mungkin Mata	$2.0 \leq V < 5.65$	$+0.216 \geq q > -0.014$
Kuning	Mungkin Perlu Alat Bantu Optik / Hanya Terlihat dengan Alat Optik	$-0.96 \leq V < 2.0$	$-0.014 \geq q > -0.232$
Oranye/Merah Muda	Hanya Terlihat dengan Alat Optik (Sulit) / Tidak Terlihat	(Bagian bawah Zona C Odeh)	(Kategori D & E Yallop)

	Teleskop		
Merah Tua/Abu-abu	Tidak Terlihat Meskipun dengan Alat Bantu Optik	$V < -0.96$	$q \leq -0.293$

Catatan: Skema warna dan penggabungan kategori dapat disesuaikan. Tabel ini memberikan contoh bagaimana menghubungkan visualisasi dengan definisi kriteria.

Peta visibilitas global adalah alat yang sangat ampuh. Namun, pembuatannya memerlukan pemahaman yang baik tentang kriteria yang digunakan dan metode komputasi yang efisien. Jika pendekatan iterasi grid dipilih, pengguna harus sadar akan potensi waktu komputasi yang lama untuk resolusi tinggi.

Contoh Kerangka Kode (Iterasi Grid dengan Matplotlib/Cartopy):

Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
import cartopy.crs as ccrs
import numpy as np
from hilal_app import core_calculations, hilal_criteria # Asumsi

def create_visibility_map(year, month, day_after_conjunction, criteria_func, eph, ts,
output_filename="visibility_map.png"):
    # Tentukan waktu konjungsi untuk bulan tersebut
    # Misal, konjungsi terjadi pada 'target_conjunction_time'
    # Tanggal peta adalah 'target_conjunction_time' + day_after_conjunction

    # Contoh: Dapatkan waktu konjungsi untuk bulan target (perlu implementasi lebih detail)
    # Untuk demo, kita set waktu observasi global (misalnya, 20 jam setelah konjungsi tertentu)
    # Dalam praktiknya, waktu observasi adalah LOKAL (best time setelah sunset lokal)

    # Placeholder untuk waktu konjungsi (harus dihitung dengan benar)
    # conjunction_time_approx = ts.utc(year, month, 10, 0, 0, 0) # Ini hanya contoh kasar!
    # observation_date_global_ref = conjunction_time_approx + day_after_conjunction

    # Buat grid lintang dan bujur
```

```

lats = np.linspace(-60, 60, 121) # Dari -60S hingga 60N, setiap 1 derajat (resolusi rendah untuk
demo)
lons = np.linspace(-180, 180, 241) # Dari 180W hingga 180E, setiap 1.5 derajat
visibility_data = np.zeros((len(lats), len(lons)))

print("Memulai pembuatan peta visibilitas (mungkin memakan waktu)...")
for i, lat in enumerate(lats):
    for j, lon in enumerate(lons):
        observer = core_calculations.create_observer(lat, lon, 0, eph) # Elevasi 0m

        # Tentukan waktu sunset lokal pada tanggal observasi global (ini penyederhanaan)
        # Seharusnya: hitung sunset lokal untuk tanggal (conjunction + day_after_conjunction) di
(lat,lon)
        # Kemudian hitung moonset setelah sunset itu, lalu hitung "best time"
        # Untuk demo ini, kita gunakan satu waktu referensi global dan hitung parameter di sana.
        # INI BUKAN CARA YANG BENAR untuk peta akurat, hanya untuk ilustrasi struktur.
        # Peta visibilitas yang benar menghitung parameter pada WAKTU TERBAIK LOKAL.

        # --- Blok Perhitungan Parameter Lokal (SANGAT PENTING untuk implementasi nyata) ---
        # 1. Tentukan tanggal lokal berdasarkan `day_after_conjunction` dan zona waktu (atau UTC
referensi).
        # Misalnya, jika konjungsi pada 10 Juli 12:00 UTC, dan `day_after_conjunction` = 1,
        # maka kita mencari visibilitas pada petang hari tanggal 11 Juli waktu lokal.
        # 2. Hitung waktu sunset lokal untuk (lat, lon) pada tanggal tersebut.
        # `t_sunset_local = almanac.find_settings(observer, eph['sun'], t_search_start,
t_search_end)`
        # 3. Hitung waktu moonset lokal setelah sunset tersebut.
        # `t_moonset_local = almanac.find_settings(observer, eph['moon'], t_sunset_local,
t_sunset_local + 0.5)`
        # 4. Hitung "best time" lokal.
        # `lag_time_days = t_moonset_local - t_sunset_local`
        # `best_time_local = t_sunset_local + (4/9) * lag_time_days`
        # 5. Hitung semua parameter (moon_alt, sun_alt, arcv, w_prime, dll.) pada `best_time_local`.
        # Ini adalah bagian yang paling intensif secara komputasi.
        # --- Akhir Blok Perhitungan Parameter Lokal ---

        # Untuk demo, kita gunakan parameter dummy atau hitungan sederhana pada waktu global ref
        # (INGAT: INI TIDAK AKURAT UNTUK PETA VISIBILITAS NYATA)
        # moon_alt_deg_dummy = lat / 3.0 # Contoh sangat kasar
        # elong_deg_dummy = (lon + 180) / 10.0 # Contoh sangat kasar
        # arcv_deg_dummy = moon_alt_deg_dummy + 2.0
        # w_prime_dummy = elong_deg_dummy / 10.0

```



```

# Ganti dengan perhitungan aktual menggunakan best_time_local
# Contoh: _, visibility_code = criteria_func(moon_alt_at_best_time, elong_at_best_time,...)
# visibility_data[i, j] = some_numeric_value_for_zone (e.g., 0 for no, 1 for aid, 2 for naked eye)

# Simulasi hasil kriteria (dummy)
if lat > 0 and lon > 0 : visibility_data[i, j] = 2 # Naked eye
elif lat < 0 and lon < 0 : visibility_data[i, j] = 1 # Optical aid
else: visibility_data[i, j] = 0 # Not visible
print(f"Menghitung baris {i+1}/{len(lats)} untuk peta...")

# Plotting dengan Cartopy
fig = plt.figure(figsize=(12, 8))
ax = fig.add_subplot(1, 1, 1, projection=ccrs.PlateCarree())
ax.set_global()

ax.coastlines()
ax.stock_img() # Latar belakang peta standar
# ax.add_feature(cartopy.feature.BORDERS, linestyle=':')
ax.gridlines(draw_labels=True, dms=True, x_inline=False, y_inline=False)

# Contoh pewarnaan berdasarkan visibility_data
# Anda perlu mendefinisikan level dan warna yang sesuai dengan zona kriteria
levels = [-0.5, 0.5, 1.5, 2.5] # Batas untuk zona 0, 1, 2
colors = ['lightgrey', 'yellow', 'lightgreen'] # Warna untuk Tidak Terlihat, Alat Bantu, Mata
Telanjang

# Gunakan pcolormesh atau contourf
# Perlu meshgrid untuk lons dan lats jika menggunakan pcolormesh/contourf
LONS, LATS = np.meshgrid(lons, lats)
contour = ax.contourf(LONS, LATS, visibility_data, levels=levels, colors=colors,
transform=ccrs.PlateCarree(), alpha=0.7)

# Tambahkan colorbar sebagai legenda
cbar = plt.colorbar(contour, ax=ax, orientation='horizontal', pad=0.05, shrink=0.7)
cbar.set_ticks() # Posisi tick untuk label
cbar.set_ticklabels()
cbar.set_label('Prediksi Visibilitas Hilal')

```

```
ax.set_title(f"Peta Prediksi Visibilitas Hilal ({year}-{month}-{day_after_conjunction} setelah
Konjungsi)")
plt.savefig(output_filename)
print(f"Peta visibilitas disimpan sebagai {output_filename}")
# plt.show()
```

*Penting: Kerangka kode di atas untuk peta visibilitas adalah SANGAT disederhanakan pada bagian perhitungan parameter per titik grid untuk menjaga keringkasan. Implementasi yang benar dan akurat **harus** menghitung waktu terbaik observasi lokal (sunset, moonset, best time) untuk **setiap titik (lintang, bujur) di grid** dan kemudian menghitung parameter astronomis (altitude, ARCV, W', dll.) pada waktu terbaik lokal tersebut sebelum menerapkan kriteria. Ini adalah bagian yang paling menantang dan komputasional dari pembuatan peta visibilitas dengan metode iterasi grid.*

8.6 Rangkuman dan Pengembangan Lebih Lanjut

Bab ini telah memandu pembaca melalui proses perancangan dan pengembangan aplikasi prediksi hilal menggunakan Python. Dimulai dari pemahaman signifikansi prediksi hilal dan dasar-dasar astronomi yang relevan, kita telah menjelajahi berbagai kriteria visibilitas populer seperti MABIMS Neo, Wujudul Hilal, Odeh, Yallop, dan Danjon. Pustaka Skyfield dipilih sebagai alat utama untuk perhitungan astronomis karena akurasi dan kemudahan penggunaannya, dengan AstroPy sebagai pendukung potensial.

Desain aplikasi ditekankan pada prinsip modularitas, dengan memisahkan logika inti perhitungan astronomi (core_calculations.py), evaluasi kriteria (hilal_criteria.py), dan antarmuka pengguna. Struktur direktori proyek yang baik juga diuraikan untuk mendukung pengembangan yang terorganisir. Implementasi antarmuka pengguna sederhana, baik melalui Command Line Interface (CLI) menggunakan argparse maupun Graphical User Interface (GUI) dasar menggunakan Tkinter, telah didemonstrasikan. Terakhir, teknik visualisasi hasil prediksi, termasuk grafik posisi relatif hilal dan konsep pembuatan peta visibilitas hilal global menggunakan Matplotlib dan Cartopy, telah dibahas.

Pentingnya pemilihan pustaka yang tepat, desain modular yang solid, dan pemahaman mendalam tentang konsep astronomis yang mendasari prediksi hilal tidak dapat dilebih-lebihkan. Aplikasi yang dihasilkan dari panduan ini menyediakan fungsionalitas dasar yang dapat diandalkan untuk prediksi hilal.

Namun, bidang prediksi hilal adalah domain yang terus berkembang, dan selalu ada ruang untuk penyempurnaan dan pengembangan lebih lanjut. Beberapa area yang dapat dieksplorasi meliputi:

1. Akurasi Atmosferik yang Ditingkatkan:

- Mengintegrasikan model refraksi atmosfer yang lebih detail. Skyfield melalui metode `.altaz()` mendukung input suhu dan tekanan aktual untuk koreksi refraksi yang lebih baik daripada nilai standar.²⁸
- Mempertimbangkan model kecerahan langit (sky brightness) dan kontras antara hilal dan latar belakang langit, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer dan polusi cahaya. Ini akan menghasilkan prediksi yang lebih realistis, terutama untuk kondisi batas.

2. Implementasi Kriteria Tambahan:

- Menambahkan dukungan untuk kriteria visibilitas hilal lainnya yang juga signifikan, seperti kriteria Ilyas, Bruin, atau kriteria lokal lainnya yang mungkin digunakan di berbagai wilayah.³ Ini akan meningkatkan fleksibilitas dan kegunaan aplikasi untuk audiens yang lebih luas.

3. Pengembangan Antarmuka Web:

- Membangun antarmuka pengguna berbasis web menggunakan kerangka kerja Python seperti Flask atau Django. Ini akan membuat aplikasi dapat diakses dari perangkat apa pun dengan browser web, memperluas jangkauannya secara signifikan.

4. Manajemen Database Hasil:

- Menyimpan hasil prediksi (parameter input, parameter astronomis yang dihitung, dan hasil kriteria) ke dalam sebuah database. Ini memungkinkan analisis historis, perbandingan hasil dari waktu ke waktu atau antar lokasi, dan validasi model prediksi.

5. Optimasi Performa untuk Peta Visibilitas:

- Untuk pembuatan peta visibilitas global, terutama dengan resolusi tinggi, implementasi metode analitik seperti "separator parabola function"⁵³ akan secara drastis mengurangi waktu komputasi dibandingkan dengan pendekatan iterasi grid.
- Mengeksplorasi teknik paralelisasi atau komputasi terdistribusi jika peta perlu dihasilkan secara sangat cepat atau untuk banyak tanggal.

6. Integrasi dan Validasi dengan Data Observasi Riil:

- Membandingkan hasil prediksi aplikasi dengan laporan observasi hilal aktual dari berbagai sumber tepercaya, seperti *Islamic Crescents' Observation Project* (ICOP)⁷ atau jaringan pengamat lokal. Ini penting untuk memvalidasi

akurasi model dan kriteria yang diimplementasikan.

7. **Kontribusi pada Diskusi Kalender Islam Global:**

- o Alat prediksi hilal yang akurat dan transparan dapat menjadi kontribusi berharga dalam diskusi yang sedang berlangsung mengenai unifikasi kalender Islam global.⁶⁰ Dengan menyediakan data dan prediksi yang dapat diverifikasi, aplikasi semacam ini dapat membantu para ahli dan pembuat kebijakan dalam mengambil keputusan. Konteks fatwa dari lembaga seperti DSN MUI terkait kalender juga bisa menjadi pertimbangan.⁶³

8. **Eksplorasi Teknik Machine Learning:**

- o Penelitian terbaru mulai mengeksplorasi penggunaan teknik *machine learning* untuk memprediksi visibilitas hilal berdasarkan dataset observasi yang besar.⁶⁴ Mengintegrasikan model ML di masa depan dapat menjadi jalur pengembangan yang menarik.

Bab ini telah menyediakan fondasi yang kuat. Namun, pembelajaran dan pengembangan dalam domain prediksi hilal bersifat berkelanjutan. Diharapkan para pembaca termotivasi untuk terus bereksplorasi, berinovasi, dan berkontribusi pada kemajuan Astronomi dan teknologi pendukungnya.

Karya yang dikutip

1. Arti Hilal: Pengertian, Sejarah, dan Signifikansinya dalam Islam - Feeds Liputan6.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.liputan6.com/feeds/read/5922712/arti-hilal-pengertian-sejarah-dan-signifikansinya-dalam-islam>
2. Hilal adalah: Pengertian, Kriteria dan Cara Melihatnya - Feeds Liputan6.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.liputan6.com/feeds/read/5755543/hilal-adalah-pengertian-kriteria-dan-cara-melihatnya>
3. journal.uin-alauddin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/6435/5311>
4. Indonesia Applies New Criteria for Determining the Hijri Month - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/117816/indonesia-applies-new-criteria-for-determining-the-hijri-month>
5. ELFALAKY: Jurnal Astronomi STUDI KOMPARASI KRITERIA AWAL BULAN KAMARIAH KALENDER FAZILET DAN KRITERIA MABIMS Irfan Astronomi - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/36469/17699>
6. Istimbah - Jurnal of Islamic Law/Jurnal Hukum Islam - ISSN 1829-6505 vol. 18, No. 1. p. 1-264 - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/418702-none-3469403c.pdf>

7. journal.uin-alauddin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/30766/16113>
8. pemahaman kriteria wujud al-hilal di pd persis cianjur, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/127/1/Dindin_Tesis_Sinopsis.pdf
9. Melihat Lebih Dalam Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://islam.nu.or.id/syariah/melihat-lebih-dalam-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah-ILIVz>
10. Pedoman Hisab Muhammadiyah Tentang Awal Bulan Kamariah - Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/wp-content/uploads/2021/05/Kunjungan-dan-Sosialisasi-Ketarjiah-2021-Rahmadi.pdf>
11. (PDF) New Criterion for Lunar Crescent Visibility - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/225099773_New_Criterion_for_Lunar_Crescent_Visibility
12. Assessment and review of modern lunar crescent visibility criterion, diakses Mei 10, 2025, <https://auass.net/wp-content/uploads/2024/03/1-s2.0-S0019103524000289-main.pdf>
13. falakmu.id, diakses Mei 10, 2025, https://falakmu.id/hilal/yallop_1997.pdf
14. webspace.science.uu.nl, diakses Mei 10, 2025, https://webspace.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam_lunvis_method.htm
15. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining Astronomy and Rukyat in Hilal Determination - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukhat-in-hilal-determination>
16. Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and Hisab Hakiki Wujudul Hilal Disputes for Muslims in Indonesia - Pharos Journal of Theology, diakses Mei 10, 2025, https://www.pharosjot.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_10_105_2_april_indonesia.pdf
17. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Universiti Malaya, diakses Mei 10, 2025, <https://jummecc.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
18. Optimist And Pessimist Moon-Sighting: The Study Of Islamic Calendar Determination In Indonesia - Jurnal UIN Antasari, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.uin-antasari.ac.id/index.php/muAsarah/article/download/7543/3326>
19. Skyfield — documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/>
20. PyEphem home page - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/pyephem/>
21. Ephemerides - My Coding, diakses Mei 10, 2025, <https://mycoding.uk/a/ephemerides.html>
22. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, diakses Mei 10, 2025, https://ssd.jpl.nasa.gov/planets/eph_export.html

23. Positions — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025,
<https://rhodesmill.org/skyfield/positions.html>
24. Coordinates — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025,
<https://rhodesmill.org/skyfield/coordinates.html>
25. Almanac Computation — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/almanac.html>
26. Rise/Set/Transit Times for Major Solar System Bodies and Bright Stars, diakses Mei 10, 2025, <https://aa.usno.navy.mil/data/mrst>
27. python-skyfield/CHANGELOG.rst at master - GitHub, diakses Mei 10, 2025,
<https://github.com/skyfielders/python-skyfield/blob/master/CHANGELOG.rst>
28. API Reference — Astronomical Positions — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/api-position.html>
29. Astropy and SunPy - A Quick Primer — DKIST 1.0.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://docs.dkist.nso.edu/projects/python-tools/en/v1.0.1/tutorial/1_astropy_and_sunpy.html
30. Using Skyfield with AstroPy - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025,
<https://rhodesmill.org/skyfield/astropy.html>
31. Astronomical Coordinate Systems (astropy.coordinates) — Astropy v7.0.1 - Astropy Docs, diakses Mei 10, 2025,
<https://docs.astropy.org/en/stable/coordinates/index.html>
32. Time and Dates (astropy.time), diakses Mei 10, 2025,
<https://docs.astropy.org/en/stable/time/index.html>
33. Determining and plotting the altitude/azimut of a celestial object - Astropy Docs, diakses Mei 10, 2025,
https://docs.astropy.org/en/latest/coordinates/example_gallery_plot_obs_planning.html
34. get_sun — Astropy v7.0.1, diakses Mei 10, 2025,
https://docs.astropy.org/en/stable/api/astropy.coordinates.get_sun.html
35. Compute Moon and Venus Phase Angles with astropy - GitHub, diakses Mei 10, 2025,
https://github.com/egemenimre/satstuff/blob/master/notebooks/astropy/moon_venus_phase.ipynb
36. Distance to Moon: inconsistent results? - Astropy - OpenAstronomy Community, diakses Mei 10, 2025, <https://community.openastronomy.org/t/distance-to-moon-inconsistent-results/217>
37. The earth is 0.4 AU from the earth? - Astropy - OpenAstronomy Community, diakses Mei 10, 2025, <https://community.openastronomy.org/t/the-earth-is-0-4-au-from-the-earth/1203>
38. Planetary Ephemeris — Orbital Mechanics & Astrodynamics, diakses Mei 10, 2025, <https://orbital-mechanics.space/reference/planetary-ephemeris.html>
39. get_body — Astropy v7.0.1, diakses Mei 10, 2025,
https://docs.astropy.org/en/stable/api/astropy.coordinates.get_body.html
40. Introduction to PyEphem Library - Ontosight, diakses Mei 10, 2025,

<https://ontosight.ai/glossary/term/introduction-to-pyephem-library--67a165f06c3593987a56bd06>

41. Design, Development and Analysis of Lunar Crescent Visibility Criterion With Python, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/385007578_Design_Development_and_Analysis_of_Lunar_Crescent_Visibility_Criterion_With_Python
42. How to design modular Python projects - LabEx, diakses Mei 10, 2025,
<https://labex.io/tutorials/python-how-to-design-modular-python-projects-420186>
43. Design Patterns in Python - Refactoring.Guru, diakses Mei 10, 2025,
<https://refactoring.guru/design-patterns/python>
44. Examples — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025,
<https://rhodessmill.org/skyfield/examples.html>
45. astronomycenter.net, diakses Mei 10, 2025,
https://astronomycenter.net/pdf/yallop_1997.pdf
46. Moon Fact Sheet, diakses Mei 10, 2025,
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>
47. Planetary Parameters — Orbital Mechanics & Astrodynamics, diakses Mei 10, 2025,
<https://orbital-mechanics.space/reference/planetary-parameters.html>
48. Building CLI Applications in Python - DEV Community, diakses Mei 10, 2025,
<https://dev.to/godofgeeks/building-cli-applications-in-python-3cnc>
49. Master Python's argparse Module: Build Better CLIs - DataCamp, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.datacamp.com/tutorial/python-argparse>
50. PyQt in Python : Designing GUI applications | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.geeksforgeeks.org/python-designing-gui-applications-using-pyqt/>
51. How To Create a Python GUI App With PyQt5 - The New Stack, diakses Mei 10, 2025,
<https://thenewstack.io/how-to-create-a-python-gui-app-with-pyqt5/>
52. matplotlib - 2D and 3D plotting in Python, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.southampton.ac.uk/~fangohr/training/python/notebooks/Matplotlib.html>
53. (PDF) Analytic Derivation & Topographic Application of the Crescent ..., diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/380396861_Analytic_Derivation_Topographic_Application_of_the_Crescent_Visibility_Parabola_Function
54. Contour plot and Cartopy - Geostationary satellite view [Plots, Code, Attempt], diakses Mei 10, 2025,
<https://stackoverflow.com/questions/78108932/contour-plot-and-cartopy-geostationary-satellite-view-plots-code-attempt>
55. crescent-moon-visibility - GitHub, diakses Mei 10, 2025,
<https://github.com/crescent-moon-visibility>
56. GitHub - crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility: Code is ..., diakses Mei 10, 2025,
<https://github.com/crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility>

57. diakses Januari 1, 1970, <https://github.com/crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility/blob/master/README.md>
58. HilalPy - Code Ocean, diakses Mei 10, 2025, <https://codeocean.com/capsule/7338838/tree/v1>
59. msyazwanfaid/hilalpy: A package to analyse the data of Moon sighting for lunar crescent visibility criterion - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/msyazwanfaid/hilalpy>
60. jurnalfsh.uinsa.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/712/574>
61. Global Hijri Calendar - Moonsighting.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.com/globalcalendar.html>
62. Respons atas Periset BRIN & Anggota THR Kemenag RI tentang Kriteria MABIMS 3-6.4 dan KHGT - OIF UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://oif.umsu.ac.id/2025/04/respons-atas-periset-brin-anggota-thr-kemenag-ri-tentang-kriteria-mabims-3-6-4-dan-khgt/>
63. Islamic scholars on trading: halal or haram? — Octa - OctaFX, diakses Mei 10, 2025, <https://www.octafx.com/education/article/islamic-scholars-on-trading-halal-or-haram/>
64. (PDF) Toward a globally lunar calendar: a machine learning-driven approach for crescent moon visibility prediction - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/383059396_Toward_a_globally_lunar_calendar_a_machine_learning-driven_approach_for_crescent_moon_visibility_prediction
65. Map of Hilal Visibility on Early Syawal 1438H/2017M (Odeh) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Hilal-Visibility-on-Early-Syawal-1438H-2017M-Odeh_fig1_323181789
66. Phases of the Moon (Credit to Google Image) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Phases-of-the-Moon-Credit-to-Google-Image_fig1_319873512
67. Babylonian crescent observation and ptolemaic-roman lunar dates - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/289874294_Babylonian_crescent_observation_and_ptolemaic-roman_lunar_dates

BAB IX

STUDI KASUS DAN ANALISIS DATA HILAL

Bab ini bertujuan untuk menyajikan analisis mendalam terhadap data pengamatan hilal, membandingkan hasil prediksi dengan observasi historis, serta mengkaji studi kasus spesifik terkait penentuan awal Ramadan dan Syawal. Lebih lanjut, bab ini akan membahas implikasi dari beragamnya kriteria hilal yang digunakan. Landasan utama analisis adalah data observasi faktual dan rujukan dari jurnal-jurnal ilmiah bereputasi di bidang astronomi Islam dan studi terkait.

9.1 Analisis Data Pengamatan Hilal: Perspektif Global dan Regional

Sub-bab ini akan membedah data pengamatan hilal baik dari skala global maupun regional, dengan fokus khusus pada Indonesia, untuk memahami tren, karakteristik, dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

- **9.1.1 Tren dan Karakteristik Data Rukyatul Hilal Global**

- **Analisis Data Historis dari Basis Data Internasional**

Analisis data rukyatul hilal historis yang dikumpulkan oleh lembaga-lembaga internasional, seperti *International Crescent Observation Project* (ICOP) yang dikelola oleh *International Astronomical Center* (IAC), menyediakan sumber daya yang kaya untuk memahami tren global dalam observasi hilal.¹ Basis data ICOP, yang telah mengumpulkan laporan pengamatan sejak tahun 1998 M (1419 H) dari berbagai belahan dunia, mencatat parameter-parameter krusial seperti lokasi geografis pengamat, waktu pengamatan, kondisi atmosfer yang dilaporkan (misalnya berawan, berkabut, cerah), penggunaan alat bantu optik (teleskop, binokular, CCD imaging), dan hasil pengamatan (apakah hilal terlihat atau tidak).² Analisis terhadap data longitudinal semacam ini memungkinkan identifikasi tren keberhasilan rukyat yang tidak hanya bergantung pada parameter geometris bulan-matahari, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor kontekstual lainnya.

Kajian terhadap data ICOP dapat mengungkapkan pola-pola menarik. Misalnya, keberhasilan rukyat di suatu wilayah mungkin berkorelasi dengan frekuensi pelaporan atau partisipasi aktif komunitas pengamat di wilayah tersebut.¹ Wilayah dengan komunitas pengamat yang lebih aktif dan berpengalaman, yang secara rutin melakukan observasi dan pelaporan,

cenderung melaporkan keberhasilan pada kondisi hilal yang secara teoritis lebih "sulit" untuk diamati, seperti pada elongasi atau ketinggian hilal yang rendah. Hal ini tidak serta merta berarti bahwa hilal secara absolut lebih mudah terlihat di lokasi tersebut, melainkan kombinasi antara keahlian, ketekunan, dan mungkin juga ekspektasi pengamat dapat memainkan peran signifikan. Fenomena ini menggarisbawahi pentingnya standarisasi dalam metodologi rukyat, pelatihan pengamat, dan protokol pelaporan untuk memastikan homogenitas dan komparabilitas data global. Tanpa standarisasi, perbandingan langsung antar laporan dari wilayah yang berbeda atau dari pengamat dengan tingkat keahlian yang beragam menjadi kurang valid secara ilmiah.

Lebih lanjut, tren global dalam data rukyat juga dapat mencerminkan evolusi penggunaan teknologi dalam praktik observasi hilal. Peningkatan jumlah laporan keberhasilan rukyat yang menggunakan alat bantu optik (seperti teleskop dan kamera CCD) dalam beberapa dekade terakhir, sebagaimana yang mungkin terdokumentasi dalam basis data ICOP ⁴, bisa jadi bukan semata-mata karena hilal lebih sering terlihat secara intrinsik, melainkan karena aksesibilitas dan adopsi teknologi yang lebih luas di kalangan pengamat. Implikasi dari tren ini adalah perlunya kriteria visibilitas modern untuk mengakomodasi atau secara eksplisit membedakan antara hasil rukyat dengan mata telanjang dan rukyat yang dibantu oleh instrumen optik. Jika data historis menunjukkan peningkatan laporan "terlihat dengan teleskop" untuk parameter hilal yang sama yang sebelumnya sering dilaporkan "tidak terlihat dengan mata telanjang", ini menandakan adanya pergeseran metodologis dalam praktik rukyat. Hal ini menimbulkan pertanyaan fundamental: apakah kriteria visibilitas yang dikembangkan berdasarkan data rukyat mata telanjang di masa lalu masih relevan tanpa penyesuaian, atau apakah diperlukan pengembangan kriteria terpisah yang secara spesifik mengakomodasi observasi berbantu optik? Pertanyaan ini menjadi penting karena tujuan akhir dari penentuan awal bulan Kamariyah dalam konteks ibadah seringkali dikaitkan dengan kemudahan hilal untuk dilihat oleh masyarakat umum, bukan hanya oleh pengamat ahli dengan peralatan canggih.

- **Faktor-faktor Kunci yang Mempengaruhi Keberhasilan Rukyat Global**
Keberhasilan rukyatul hilal secara global dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara berbagai faktor. Faktor-faktor ini dapat dikategorikan secara umum menjadi kondisi atmosfer, kualitas pengamat, dan parameter astronomis hilal

itu sendiri.

Pertama, kondisi atmosfer memainkan peran yang sangat krusial.¹⁷ Keberadaan awan, terutama awan tebal di ufuk barat saat matahari terbenam, dapat sepenuhnya menghalangi pandangan ke arah hilal.¹⁸ Kabut dan tingkat kelembaban udara yang tinggi juga dapat mengurangi transparansi atmosfer dan meningkatkan hamburan cahaya, sehingga kontras antara hilal yang tipis dan cahaya senja (syafak) menjadi sangat rendah.¹⁷ Polusi cahaya, terutama di daerah perkotaan dan sekitarnya, menjadi tantangan yang semakin meningkat di era modern.²¹ Cahaya buatan dari perkotaan dapat meningkatkan kecerahan langit latar belakang secara signifikan, membuat hilal yang sudah redup menjadi semakin sulit atau bahkan tidak mungkin untuk dideteksi. Penelitian oleh Shariff et al. (2017) menunjukkan bahwa ada ambang batas kecerahan langit (*sky limiting magnitude*) yang menentukan apakah hilal dapat teramati atau tidak.²¹ Jika tren urbanisasi dan polusi cahaya terus berlanjut, maka data rukyat historis dari lokasi-lokasi yang kini telah tercemar polusi cahaya mungkin tidak lagi representatif untuk kondisi pengamatan saat ini. Ini berimplikasi pada akurasi model prediksi visibilitas hilal yang tidak memperhitungkan parameter polusi cahaya secara eksplisit, terutama untuk lokasi-lokasi urban. Faktor atmosfer lainnya seperti suhu udara, tekanan udara, dan keberadaan aerosol juga secara tidak langsung mempengaruhi kejernihan langit dan kondisi pengamatan.¹⁸

Kedua, kualitas dan pengalaman pengamat tidak dapat diabaikan.⁴ Ketajaman visual (*visual acuity*) dan sensitivitas kontras mata pengamat adalah faktor fisiologis yang penting.²⁰ Pengamat yang berpengalaman, yang telah sering melakukan rukyat dan memahami karakteristik kenampakan hilal yang sangat tipis, cenderung memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi, terutama dalam kondisi batas visibilitas. Kemampuan untuk membedakan hilal dari objek lain di langit senja, serta adaptasi mata terhadap kondisi minim cahaya, juga merupakan aspek penting dari keahlian pengamat.²⁰ Ketiga, **parameter astronomis hilal** adalah penentu fundamental dari potensi visibilitasnya.¹⁷ Parameter-parameter ini meliputi:

- **Umur Bulan (Moon Age):** Dihitung sejak waktu ijtima (konjungsi). Secara umum, semakin tua umur bulan, semakin tebal sabitnya dan semakin mudah terlihat.²⁴ Namun, umur bulan saja bukanlah prediktor visibilitas yang akurat tanpa mempertimbangkan parameter lain.²³

- **Ketinggian Hilal (Altitude):** Ketinggian hilal di atas ufuk pada saat matahari terbenam. Semakin tinggi posisi hilal, semakin lama ia berada di atas ufuk setelah matahari terbenam dan semakin berkurang pengaruh ekstingsi atmosfer.²⁴
- **Elongasi (Elongation/ARCL):** Jarak sudut antara pusat matahari dan pusat bulan. Elongasi yang lebih besar umumnya berarti sabit bulan yang lebih lebar dan lebih terang.²⁰
- **Lebar Sabit Hilal (Crescent Width/W):** Parameter fisis yang secara langsung berkaitan dengan kecerahan permukaan hilal yang terlihat dari bumi.⁴
- **Waktu Terbenam Bulan Relatif terhadap Matahari (Lag Time):** Selisih waktu antara terbenamnya matahari dan terbenamnya bulan. *Lag time* yang lebih lama memberikan kesempatan lebih bagi langit untuk menjadi lebih gelap, sehingga meningkatkan kontras hilal.²⁴
- **Fraksi Iluminasi (Fraction of Illumination):** Persentase bagian permukaan bulan yang tersinari matahari dan terlihat dari bumi.²⁴

Pemahaman yang komprehensif terhadap interaksi antara parameter-parameter astronomis ini dengan kondisi atmosfer lokal dan kapabilitas pengamat sangat penting dalam menganalisis data rukyat global dan mengembangkan model prediksi visibilitas hilal yang lebih akurat.

- **9.1.2 Studi Data Pengamatan Hilal di Berbagai Lokasi di Indonesia**
 - **Kompilasi dan Analisis Data Rukyat Historis dari Berbagai Observatorium dan Titik Pantau di Indonesia**

Indonesia, sebagai negara dengan populasi Muslim terbesar di dunia, memiliki tradisi rukyatul hilal yang kuat dan terdokumentasi dengan baik. Data hasil rukyatul hilal dari berbagai lembaga dan organisasi memainkan peran penting dalam penentuan awal bulan Kamariyah, khususnya Ramadan, Syawal, dan Zulhijah. Kompilasi dan analisis data historis ini krusial untuk memahami pola visibilitas hilal secara spesifik di wilayah Indonesia. Sumber data utama meliputi laporan resmi dari Kementerian Agama (Kemenag) yang melakukan sidang isbat²⁷, data observasi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)³³, data dari lembaga riset seperti LAPAN (sekarang bagian dari Badan Riset dan Inovasi Nasional - BRIN)³⁵, serta laporan dari organisasi masyarakat Islam seperti Nahdlatul Ulama (NU) melalui Lembaga Falakiah-nya (LFNU) dan Persatuan Islam (Persis) yang juga aktif melakukan observasi.²⁷ Selain itu, data dari jaringan pengamat independen atau kelompok studi astronomi lokal juga dapat memberikan kontribusi berharga.

Analisis data historis ini dapat difokuskan pada beberapa aspek. Pertama, perbandingan tingkat keberhasilan rukyat antar wilayah di Indonesia. Mengingat bentang geografis Indonesia yang luas dari Sabang hingga Merauke, variasi kondisi atmosfer dan parameter geometris hilal saat matahari terbenam dapat sangat signifikan.²⁵ Data historis BMKG, misalnya, pada pengamatan hilal 1 April 2022 (awal Ramadan 1443 H), menunjukkan ketinggian hilal tertinggi teramati di Tua Pejat, Sumatera Barat, sementara kecerlangan tertinggi teramati di Sabang, Aceh, dan parameter terendah di Merauke, Papua.³³ Perbedaan ini mengindikasikan bahwa probabilitas keberhasilan rukyat tidak seragam di seluruh wilayah Indonesia. Dengan mengkorelasikan data rukyat historis dari berbagai titik pantau dengan data meteorologi lokal¹⁷, dapat dibangun model probabilitas visibilitas hilal yang lebih spesifik untuk setiap region di Indonesia, yang tentunya akan lebih akurat daripada menggunakan satu model global atau kriteria tunggal untuk seluruh negeri. Kedua, analisis tren keberhasilan rukyat dari waktu ke waktu. Ini dapat mengungkapkan apakah ada perubahan dalam tingkat keberhasilan rukyat yang mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti perubahan iklim lokal, peningkatan polusi cahaya di sekitar lokasi observasi, atau peningkatan kapasitas dan teknologi pengamatan.

- **Variasi Lokal dalam Visibilitas Hilal dan Faktor Penyebabnya**
Studi kasus di berbagai daerah di Indonesia secara konsisten menunjukkan bahwa faktor lokal memainkan peran dominan dalam menentukan keberhasilan rukyatul hilal. Penelitian yang dilakukan di Makassar, Sulawesi Selatan, misalnya, menyimpulkan bahwa kenampakan hilal sangat dipengaruhi oleh ketebalan awan dan tingkat kecerahan langit senja (syafak).¹⁹ Dalam kondisi atmosfer tropis Indonesia yang cenderung memiliki tingkat kelembaban dan tutupan awan yang tinggi, kedua faktor ini seringkali menjadi penghalang utama meskipun parameter astronomis hilal secara teoritis sudah memungkinkan untuk terlihat.¹⁷

Studi di Makassar tersebut juga berhasil menurunkan beberapa parameter batas dari observasi lokal, seperti usia bulan minimal 19 jam dengan elongasi 10° , dan beda tinggi Bulan-Matahari (ARCV) sebesar 10.24° pada beda azimut (DAz) 6° .¹⁹ Menariknya, parameter yang diturunkan dari observasi lokal ini cenderung lebih tinggi atau lebih ketat dibandingkan dengan kriteria MABIMS yang umum digunakan (misalnya, MABIMS lama dengan tinggi 2° dan elongasi 3° , atau Neo-MABIMS dengan tinggi 3° dan elongasi 6.4°).¹⁹ Hal ini

mengindikasikan bahwa kondisi atmosfer di wilayah tropis seperti Indonesia mungkin memerlukan nilai ambang batas parameter astronomis yang lebih tinggi agar hilal dapat teramati dengan mata telanjang. Jika kriteria yang diturunkan dari observasi lokal secara konsisten lebih tinggi daripada kriteria MABIMS untuk mencapai keberhasilan rukyat, ini dapat menjelaskan mengapa sering terjadi perbedaan antara prediksi Kemenag (yang umumnya mengacu pada MABIMS) dan laporan hasil rukyat di lapangan, terutama jika kondisi atmosfer pada saat observasi tidak ideal.

Ketidakkonsistenan hasil rukyat historis di satu lokasi, seperti yang juga dilaporkan dalam studi Makassar¹⁹ dimana hasil rukyat bervariasi dari tahun ke tahun dan seringkali dikaitkan dengan kondisi cuaca, menunjukkan tantangan inheren dalam membangun model prediksi visibilitas hilal yang bersifat deterministik (ya/tidak terlihat) semata-mata berdasarkan parameter astronomis. Variabilitas kondisi atmosfer dari hari ke hari dan dari satu lokasi ke lokasi lain di Indonesia yang sangat luas ini memperkuat argumen untuk pengembangan pendekatan probabilistik dalam prediksi hilal. Model probabilistik, yang memberikan persentase kemungkinan hilal terlihat berdasarkan kombinasi parameter astronomis dan data cuaca historis maupun prediktif, akan menawarkan gambaran yang lebih realistis dan berpotensi lebih bermanfaat bagi proses pengambilan keputusan dalam sidang isbat. Ini juga menekankan pentingnya jaringan observasi yang luas dan terdistribusi dengan baik di seluruh wilayah Indonesia untuk menangkap variasi lokal ini secara komprehensif.

9.2 Komparasi Hasil Prediksi Aplikasi dengan Data Observasi Sejarah

Sub-bab ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kritis sejauh mana model-model prediksi hilal yang ada, baik yang berupa kriteria visibilitas teoretis maupun yang telah terimplementasi dalam berbagai perangkat lunak astronomi, mampu mereplikasi atau sesuai dengan data pengamatan hilal historis. Evaluasi ini penting untuk memahami tingkat keandalan dan keterbatasan dari setiap pendekatan prediksi.

- **9.2.1 Evaluasi Kinerja Kriteria Visibilitas Hilal Terkemuka**
 - **Analisis Komparatif Kriteria MABIMS (Lama dan Neo), Wujudul Hilal, Imkanur Rukyat, Odeh, dan Yallop terhadap Data Observasi Global dan Nasional**

Berbagai kriteria visibilitas hilal telah dikembangkan dan digunakan secara luas,

masing-masing dengan dasar filosofis dan parameter teknis yang berbeda. Kriteria MABIMS (Menteri-Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura) merupakan standar regional yang signifikan di Asia Tenggara. Kriteria MABIMS lama, yang umumnya dikenal dengan parameter tinggi minimal 2 derajat, elongasi minimal 3 derajat, atau umur bulan minimal 8 jam setelah ijtimak (konjungsi) ²⁵, telah mengalami evolusi. Kriteria Neo-MABIMS, yang disepakati pada tahun 2021 dan mulai diimplementasikan di Indonesia pada tahun 2022, menetapkan ambang batas yang lebih tinggi, yaitu ketinggian hilal minimal 3 derajat dan elongasi minimal 6.4 derajat.³⁵ Perubahan ini didasarkan pada kajian ulang data observasi dan bertujuan untuk meningkatkan probabilitas terlihatnya hilal secara faktual. Di Indonesia, kriteria Wujudul Hilal yang dianut oleh Muhammadiyah menjadi salah satu acuan utama. Kriteria ini menetapkan bahwa bulan baru dimulai apabila pada saat matahari terbenam setelah terjadinya ijtimak, bulan (hilal) sudah berada di atas ufuk (posisi positif), berapapun ketinggiannya, asalkan ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam.³¹ Kriteria ini menekankan pada keberadaan astronomis bulan di atas ufuk, bukan pada kenampakannya secara visual.

Kriteria Imkanur Rukyat secara umum merujuk pada konsep bahwa hilal harus memiliki parameter tertentu yang memungkinkannya untuk dapat dilihat. Kriteria MABIMS dapat dianggap sebagai salah satu bentuk implementasi spesifik dari Imkanur Rukyat. Organisasi seperti Nahdlatul Ulama (NU) di Indonesia umumnya mengacu pada Imkanur Rukyat dalam praktiknya, seringkali sejalan dengan kriteria yang ditetapkan pemerintah (MABIMS), dan sangat menekankan pada pelaksanaan rukyat fisik.²⁸

Di tingkat internasional, kriteria yang dikembangkan oleh Mohammad Odeh dan Bernard Yallop mendapatkan perhatian luas. Kriteria Odeh, yang didasarkan pada analisis lebih dari 700 data observasi global (termasuk data dari ICOP), menggunakan parameter fisis seperti lebar sabit hilal (W) dan beda tinggi antara bulan dan matahari (ARCV) untuk memprediksi visibilitas dalam beberapa zona (misalnya, terlihat dengan mata telanjang, terlihat dengan alat optik, tidak terlihat).⁴ Kriteria Yallop, yang juga berbasis data observasi global, menghasilkan parameter uji 'q' yang mengkategorikan visibilitas hilal ke dalam beberapa tingkatan, dari mudah terlihat hingga tidak mungkin terlihat.⁴ Perbandingan kinerja kriteria-kriteria ini terhadap data rukyat dari wilayah tropis seperti Indonesia versus data global dapat mengungkap adanya bias

geografis. Misalnya, kriteria Odeh atau Yallop yang dikembangkan dari dataset observasi yang lebih luas dan beragam secara geografis mungkin menunjukkan akurasi prediksi yang lebih tinggi secara umum. Namun, kriteria regional seperti Neo-MABIMS, meskipun mungkin kurang presisi pada skala global, bisa jadi lebih sesuai untuk kondisi lokal di Asia Tenggara. Jika analisis menunjukkan bahwa kriteria Odeh/Yallop memiliki tingkat prediksi yang lebih tinggi secara konsisten terhadap data rukyat Indonesia dibandingkan Neo-MABIMS, hal ini dapat memicu pertanyaan mengenai efektivitas Neo-MABIMS sebagai standar tunggal untuk Indonesia. Sebaliknya, jika Neo-MABIMS menunjukkan korelasi yang lebih baik dengan hasil rukyat lokal—meskipun mungkin "mengorbankan" beberapa kasus hilal yang sangat tipis yang mungkin terdeteksi oleh kriteria Odeh/Yallop—ini bisa menjadi argumen bahwa Neo-MABIMS lebih praktis untuk tujuan unifikasi kalender di tingkat regional.

Penting untuk dipahami bahwa "akurasi" sebuah kriteria visibilitas bersifat multi-dimensi. Suatu kriteria mungkin memiliki tingkat keberhasilan prediksi "terlihat" yang tinggi, tetapi pada saat yang sama juga memiliki tingkat "false positive" (menyatakan terlihat padahal sebenarnya tidak) yang tinggi. Kriteria lain mungkin lebih konservatif, dengan prediksi "terlihat" yang lebih rendah tetapi juga tingkat "false negative" (menyatakan tidak terlihat padahal mungkin terlihat oleh pengamat ahli) yang lebih rendah. Oleh karena itu, analisis kinerja kriteria idealnya melibatkan penggunaan matriks kebingungan (*confusion matrix*) untuk setiap kriteria terhadap data observasi, bukan hanya sekadar perbandingan persentase keberhasilan sederhana. Pendekatan ini menjadi penting karena implikasi sosial dari "false positive" bisa berbeda secara signifikan dengan implikasi dari "false negative", terutama dalam konteks penetapan waktu ibadah. Kriteria Wujudul Hilal, misalnya, secara desain akan memiliki tingkat "true positive" yang tinggi untuk kasus di mana hilal memang sudah berada di atas ufuk. Namun, dari sudut pandang visibilitas aktual, kriteria ini berpotensi menghasilkan banyak "false positive" jika hilal masih sangat tipis dan sulit diamati. Sebaliknya, kriteria Imkanur Rukyat yang sangat ketat mungkin memiliki tingkat "false negative" yang tinggi, di mana hilal dinyatakan tidak terlihat padahal pengamat berpengalaman dengan bantuan alat optik mungkin dapat melihatnya. Pemilihan kriteria "terbaik" pada akhirnya mungkin akan bergantung pada tujuan spesifik yang ingin dicapai: apakah untuk menyusun kalender sipil yang definitif dan dapat diprediksi jauh hari (seperti yang diupayakan dengan Wujudul Hilal), atau untuk memandu pelaksanaan

rukyat fisik dengan probabilitas keberhasilan yang tinggi (seperti pada Imkanur Rukyat yang ketat), atau untuk mencapai unifikasi regional dengan suatu tingkat kompromi (seperti pada Neo-MABIMS).

- **Validasi Akurasi Prediksi dan Identifikasi Deviasi**

Dengan menggunakan data rukyat historis, baik dari skala global maupun nasional (khususnya Indonesia), dapat dilakukan perhitungan tingkat keberhasilan dan kegagalan masing-masing kriteria visibilitas. Deviasi antara prediksi yang dihasilkan oleh suatu kriteria dengan hasil observasi aktual di lapangan perlu dianalisis secara cermat untuk mengidentifikasi adanya kelemahan atau bias sistematis pada kriteria tersebut. Studi-studi seperti yang dilakukan oleh Faid et al.⁸, yang melakukan asesmen dan tinjauan terhadap kriteria visibilitas hilal modern, serta analisis kuantitatif terhadap ribuan data pengamatan⁷, menjadi rujukan penting dalam proses validasi ini. Identifikasi deviasi yang bersifat sistematis dapat mengarah pada usulan modifikasi atau penyempurnaan kriteria yang ada. Sebagai contoh, jika suatu kriteria secara konsisten gagal memprediksi visibilitas hilal di wilayah maritim Indonesia, hal ini mungkin mengindikasikan perlunya memasukkan faktor koreksi yang berkaitan dengan kondisi atmosfer maritim ke dalam model kriteria tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Thomas Djamaluddin pada tahun 2001 mengenai re-evaluasi kriteria visibilitas hilal di Indonesia berdasarkan data pengamatan dari tahun 1962 hingga 1997 adalah contoh konkret dari pendekatan semacam ini.¹⁰³ Dalam penelitian tersebut, Djamaluddin mengusulkan revisi kriteria dengan parameter spesifik seperti elongasi minimal 5.6 derajat dan adanya ketergantungan antara beda tinggi hilal-matahari dengan separasi azimut keduanya. Jika analisis data rukyat terkini menunjukkan pola deviasi yang serupa—misalnya, kriteria MABIMS yang berlaku saat ini masih kurang optimal untuk memprediksi visibilitas di seluruh kondisi geografis dan atmosferis Indonesia—maka hal ini akan memperkuat argumen untuk terus melakukan penyempurnaan kriteria regional berdasarkan data empiris lokal, daripada hanya mengadopsi kriteria global atau regional yang bersifat lebih umum. Proses validasi dan identifikasi deviasi ini merupakan siklus berkelanjutan dalam upaya meningkatkan akurasi prediksi hilal.

Berikut adalah tabel yang merangkum perbandingan kinerja beberapa kriteria visibilitas hilal utama terhadap data observasi, dengan fokus pada konteks Indonesia sebagai contoh ilustratif. Perlu dicatat bahwa nilai persentase dan tingkat kesalahan bersifat hipotetis dan memerlukan analisis data rukyat aktual yang komprehensif untuk

pengisian yang akurat.

Tabel 9.1: Perbandingan Hipotetis Kinerja Kriteria Visibilitas Hilal Terhadap Data Observasi Indonesia

Nama Kriteria	Jumlah Kasus Uji (Contoh)	Persentase Prediksi Tepat (Terlihat)	Persentase Prediksi Tepat (Tidak Terlihat)	Tingkat False Positive	Tingkat False Negative	Catatan Sumber Data Potensial
Neo-MABIMS (3°/6.4°)	500	75%	85%	15%	25%	Data rukyat Kemenag, LFNU, ICOP (Indonesia) periode implementasi Neo-MABIMS ⁴²
Wujudul Hilal	500	95% (jika di atas ufuk)	N/A (tidak memprediksi ketidakterlihatan)	Tinggi	Rendah (jika di atas ufuk)	Data hisab Muhammadiah dibandingkan laporan rukyat independen ³¹
Kriteria Odeh	500	80%	90%	10%	20%	Data rukyat ICOP (Indonesia), data observatorium nasional ⁴

Kriteria Yallop	500	78%	88%	12%	22%	Data rukyat ICOP (Indonesia), data observatorium nasional ⁷
Usulan Djamaluddin (2001)	200 (data historis)	(Perlu analisis data 1962-1997)	(Perlu analisis data 1962-1997)	(Perlu analisis)	(Perlu analisis)	Data rukyat Kemenag 1962-1997 ¹⁰³
Usulan RHI	(Sesuai dataset RHI)	(Perlu data dari studi RHI)	(Perlu data dari studi RHI)	(Perlu data)	(Perlu data)	Data observasi RHI (Rukyatul Hilal Indonesia) ⁹⁶

Catatan: Nilai persentase dalam tabel ini adalah ilustratif dan memerlukan analisis data empiris yang mendalam untuk pengisian yang akurat. Kolom "Jumlah Kasus Uji" juga bersifat contoh.

Tabel ini, jika diisi dengan data hasil analisis empiris yang rigor, akan sangat berharga. Tabel ini akan memberikan evaluasi kuantitatif langsung mengenai seberapa baik masing-masing kriteria utama berfungsi dalam konteks spesifik Indonesia. Hal ini akan membantu pembaca memahami kekuatan dan kelemahan relatif dari setiap kriteria berdasarkan bukti empiris, bukan hanya berdasarkan klaim teoretis atau asumsi. Pemahaman ini krusial karena Indonesia memiliki karakteristik geografis dan atmosferis yang unik sebagai negara tropis kepulauan, yang mungkin mempengaruhi visibilitas hilal secara berbeda dibandingkan dengan wilayah lain di dunia. Dengan membandingkan prediksi berbagai kriteria terhadap data rukyat aktual dari Indonesia, kita dapat mengidentifikasi kriteria mana yang paling sesuai dan andal untuk kondisi

lokal. Metrik seperti persentase prediksi tepat untuk kondisi "terlihat" dan "tidak terlihat", serta tingkat *false positive* (menyatakan terlihat padahal tidak) dan *false negative* (menyatakan tidak terlihat padahal iya), memberikan gambaran kinerja yang jauh lebih komprehensif daripada sekadar akurasi sederhana. Informasi ini sangat penting tidak hanya untuk diskusi ilmiah tetapi juga untuk pengambilan kebijakan terkait penentuan awal bulan Kamariyah di tingkat nasional, memungkinkan penilaian yang objektif dan berbasis data.

- **9.2.2 Peran dan Validasi Perangkat Lunak dalam Prediksi Hilal**

- **Kajian terhadap Aplikasi Populer dan Akurasinya**

Sejumlah perangkat lunak astronomi telah dikembangkan dan digunakan secara luas untuk membantu dalam prediksi visibilitas hilal. Aplikasi populer seperti Accurate Times, yang sering digunakan oleh ICOP dan Mohammad Odeh dalam analisis dan pembuatan peta visibilitas global ², Stellarium yang dikenal luas oleh para astronom amatir, Skyfield yang merupakan pustaka Python untuk kalkulasi astronomi presisi ⁹⁰, dan HilalPy, sebuah pustaka Python yang dirancang khusus untuk analisis kriteria visibilitas hilal menggunakan basis data laporan pengamatan terintegrasi ⁶, semuanya memiliki peran dalam ekosistem prediksi hilal.

Evaluasi terhadap perangkat lunak ini melibatkan beberapa aspek. Pertama, bagaimana perangkat lunak tersebut mengimplementasikan kriteria visibilitas yang ada. Beberapa perangkat lunak mungkin menawarkan pilihan berbagai kriteria (misalnya, Yallop, Odeh, MABIMS), sementara yang lain mungkin menggunakan satu kriteria default atau kriteria kustom. Kedua, akurasi output yang dihasilkan oleh perangkat lunak ini perlu divalidasi dengan membandingkannya terhadap data observasi historis yang reliabel. Perbandingan ini dapat mengungkapkan apakah ada perbedaan signifikan antara prediksi perangkat lunak dan hasil rukyat aktual, serta mengidentifikasi potensi bias atau kesalahan dalam implementasi algoritma. Salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi hasil perhitungan dan prediksi dari perangkat lunak astronomi adalah pustaka astrometri (*astrometry library*) yang digunakannya.⁹ Pustaka astrometri bertanggung jawab untuk melakukan kalkulasi posisi benda-benda langit berdasarkan model efemeris tertentu (misalnya, JPL DE421, DE430, DE440 ¹⁰⁹). Perbedaan dalam model efemeris yang digunakan atau algoritma perhitungan internal dalam pustaka astrometri yang berbeda dapat menghasilkan sedikit perbedaan dalam nilai

parameter astronomis hilal (seperti ketinggian, elongasi, azimuth) untuk waktu dan lokasi yang sama. Meskipun perbedaan ini mungkin kecil, dalam kasus-kasus batas visibilitas hilal, perbedaan tersebut dapat berujung pada prediksi visibilitas yang berbeda (terlihat vs. tidak terlihat). Oleh karena itu, transparansi mengenai model astronomi dan pustaka astrometri yang digunakan oleh suatu perangkat lunak, serta pemahaman akan tingkat presisi dan batasannya, menjadi sangat penting, terutama bagi lembaga resmi atau individu yang mengandalkan perangkat lunak tersebut untuk pengambilan keputusan. Studi yang membandingkan output dari berbagai perangkat lunak untuk serangkaian kasus uji yang sama, dan kemudian memvalidasinya dengan data observasi aktual, dapat membantu mengidentifikasi perangkat lunak mana yang paling andal untuk kondisi atau wilayah geografis tertentu.

Perkembangan terkini yang sangat signifikan dalam prediksi visibilitas hilal adalah aplikasi teknik *machine learning* (ML) atau pembelajaran mesin.⁸³ Model ML, yang dilatih menggunakan dataset observasi hilal yang besar dan beragam, memiliki potensi untuk melampaui akurasi kriteria tradisional yang umumnya berbasis pada formula matematis tetap. Kriteria tradisional seperti Odeh, Yallop, atau MABIMS menggunakan sekumpulan parameter astronomis dengan ambang batas tertentu. Sebaliknya, model ML dapat "mempelajari" pola-pola non-linear yang kompleks dari data historis, yang mungkin mencakup lebih banyak variabel input, termasuk data meteorologi jika tersedia, untuk menghasilkan prediksi visibilitas. Jika model ML secara konsisten menunjukkan akurasi prediksi yang lebih tinggi dibandingkan kriteria tradisional pada dataset validasi independen, ini dapat menandai pergeseran paradigma dalam metodologi prediksi hilal. Namun, pengembangan model ML yang andal menghadapi tantangan tersendiri, seperti kebutuhan akan dataset pelatihan yang besar, berkualitas tinggi, dan representatif secara geografis dan temporal. Selain itu, interpretasi model ML yang seringkali bersifat "kotak hitam" (*black box*) juga menjadi perhatian, terutama jika model tersebut akan digunakan untuk pengambilan keputusan yang memiliki implikasi religius dan sosial yang luas. Meskipun demikian, potensi ML untuk meningkatkan akurasi prediksi hilal sangat menjanjikan dan menjadi area penelitian yang aktif.

9.3 Studi Kasus: Prediksi dan Realisasi Awal Ramadan dan Syawal

Sub-bab ini akan menyajikan analisis mendalam terhadap kasus-kasus spesifik terkait

penentuan awal bulan Ramadan dan Syawal. Fokus utama adalah membandingkan antara prediksi yang dihasilkan melalui metode hisab (perhitungan astronomis) dengan realisasi pengamatan hilal (rukyat) di lapangan serta keputusan resmi yang diambil, baik dalam konteks Indonesia maupun internasional.

- **9.3.1 Analisis Mendalam Penentuan Awal Ramadan dan Syawal di Indonesia (Studi Kasus Tahun-Tahun Signifikan, misal 1443H, 1444H, 1445H)**

Penentuan awal Ramadan dan Syawal di Indonesia seringkali melibatkan dinamika antara berbagai organisasi Islam dan pemerintah, yang masing-masing mungkin menggunakan pendekatan atau kriteria yang sedikit berbeda. Analisis terhadap tahun-tahun signifikan di mana terjadi potensi perbedaan atau kesamaan dalam penetapan menjadi penting untuk memahami aplikasi praktis dari berbagai kriteria hilal.

- **Perbandingan Data Hisab (Kemenag, Muhammadiyah, NU) dengan Laporan Rukyat Nasional**

Sebagai contoh, pada penentuan **awal Ramadan 1443 H (sekitar April 2022)**, Pimpinan Pusat Muhammadiyah, berdasarkan metode Hisab Hakiki Wujudul Hilal, menetapkan 1 Ramadan 1443 H jatuh pada hari Sabtu, 2 April 2022. Keputusan ini didasarkan pada perhitungan bahwa ijtimaq jelang Ramadan 1443 H terjadi pada Jumat, 1 April 2022 pukul 13:27:13 WIB, dan pada saat matahari terbenam di Yogyakarta, tinggi Bulan tercatat $+02^{\circ} 18' 12''$, yang berarti hilal sudah wujud (berada di atas ufuk) di seluruh wilayah Indonesia.¹⁴⁶ Sebaliknya, Profesor Riset Bidang Astronomi dan Astrofisika BRIN, Thomas Djamaluddin, memprediksi bahwa hilal pada 1 April 2022 akan terlalu rendah untuk diamati di sebagian besar wilayah Indonesia (kurang dari 2 derajat), dengan hanya wilayah barat Jawa dan Sumatera yang tinggi bulannya sedikit di atas 2 derajat, sehingga awal Ramadan diprediksi jatuh pada Minggu, 3 April 2022.²⁹ Laporan BMKG juga mengindikasikan potensi kecil hilal terlihat pada 1 April 2022, dengan tinggi hilal tertinggi di Indonesia hanya 2,19 derajat dan kecerlangan yang sangat redup.³³ Mengikuti hasil rukyatul hilal yang dilakukan di berbagai titik yang menunjukkan hilal tidak terlihat, Kementerian Agama (Kemenag) bersama Nahdlatul Ulama (NU) akhirnya menetapkan 1 Ramadan 1443 H jatuh pada hari Minggu, 3 April 2022.³⁰ Perbedaan ini secara jelas menunjukkan bagaimana kriteria Wujudul Hilal yang digunakan Muhammadiyah menghasilkan tanggal yang berbeda dengan kriteria Imkanur Rukyat (Neo-MABIMS: tinggi 3° , elongasi 6.4°) yang menjadi acuan pemerintah dan NU, di mana hasil rukyat fisik menjadi konfirmasi akhir.

Pola serupa terulang pada penentuan **awal Syawal 1444 H (Idul Fitri, sekitar April 2023)**. Muhammadiyah, dengan metode Wujudul Hilal, menetapkan 1 Syawal 1444 H jatuh pada hari Jumat, 21 April 2023. Perhitungan hisab menunjukkan bahwa ijtima geosentris terjadi pada Kamis, 20 April 2023 pukul 11:12:27 WIB. Pada saat matahari terbenam di Indonesia pada hari itu, tinggi hilal berkisar antara $0^{\circ} 44' 26''$ hingga $2^{\circ} 21' 38''$, dengan elongasi antara $2^{\circ} 19' 17''$ hingga $4^{\circ} 0' 42''$.¹⁵⁰ Parameter ini memenuhi syarat Wujudul Hilal karena hilal sudah berada di atas ufuk. Namun, parameter tersebut belum memenuhi kriteria baru MABIMS (tinggi minimal 3° dan elongasi minimal 6.4°). Akibatnya, setelah pelaksanaan rukyatul hilal di berbagai lokasi yang tidak berhasil melihat hilal (sebagaimana dilaporkan oleh Kemenag dan LFNU), pemerintah melalui sidang isbat menetapkan 1 Syawal 1444 H jatuh pada hari Sabtu, 22 April 2023.²⁸ Data dari ICOP untuk Indonesia pada periode tersebut juga konsisten dengan laporan tidak terlihatnya hilal yang memenuhi kriteria MABIMS.¹⁴⁹ Kasus-kasus ini secara konsisten menunjukkan dampak langsung dari perbedaan kriteria. Ini bukan hanya perbedaan teoretis, melainkan perbedaan praktis dalam pelaksanaan ibadah puasa dan perayaan Idul Fitri bagi jutaan umat Islam di Indonesia. Keputusan Kemenag yang tetap menunggu hasil rukyat meskipun data hisab dari berbagai pihak telah tersedia²⁸ menggarisbawahi peran sentral rukyat dalam legitimasi keputusan pemerintah di Indonesia. Ini juga mencerminkan upaya pemerintah untuk mengakomodasi kelompok masyarakat yang menekankan pentingnya rukyat fisik (seperti NU), meskipun hal ini berpotensi menghasilkan keputusan yang berbeda dengan kelompok yang murni menggunakan hisab (seperti Muhammadiyah). Sidang Isbat menjadi forum di mana data hisab dipaparkan, namun laporan rukyat dari berbagai lokasi yang memenuhi kriteria MABIMS seringkali menjadi penentu akhir. Jika tidak ada laporan rukyat yang kredibel, maka bulan berjalan akan diistimikan (digenapkan menjadi 30 hari), meskipun data hisab Wujudul Hilal mungkin menunjukkan bahwa hilal secara astronomis sudah ada di atas ufuk. Hal ini menunjukkan bahwa aspek *ta'abbudi* (ritual ibadah) dari rukyat masih memegang peranan penting dalam proses pengambilan keputusan formal di tingkat negara, yang bertujuan untuk mencapai penerimaan yang lebih luas di tengah masyarakat yang memiliki pandangan beragam.

- **Analisis Parameter Astronomis Kritis**

Untuk setiap studi kasus yang dibahas, analisis mendalam terhadap parameter-parameter astronomis kunci menjadi sangat penting. Parameter tersebut meliputi ketinggian hilal (altitude), elongasi (jarak sudut antara bulan

dan matahari), umur bulan (waktu sejak ijtimak), *lag time* (selisih waktu terbenam matahari dan bulan), dan fraksi iluminasi (persentase bagian bulan yang tersinari matahari). Data untuk parameter-parameter ini pada saat matahari terbenam di lokasi-lokasi pengamatan utama di Indonesia perlu dikumpulkan dari sumber-sumber resmi seperti BMKG dan BRIN, serta melalui perhitungan menggunakan perangkat lunak astronomi yang telah tervalidasi.²⁴ Analisis ini akan membantu memahami secara kuantitatif kondisi hilal pada saat observasi dan bagaimana kondisi tersebut dibandingkan dengan ambang batas berbagai kriteria visibilitas.

- **Dokumentasi dan Analisis Perbedaan serta Kesamaan dalam Penetapan** Perbedaan dan kesamaan dalam penetapan awal bulan oleh berbagai pihak di Indonesia (Kemenag, Muhammadiyah, NU, Persis, dll.) akan didokumentasikan secara sistematis untuk setiap studi kasus. Faktor-faktor penyebab perbedaan, seperti penggunaan kriteria visibilitas yang berbeda (Wujudul Hilal vs. Imkanur Rukyat MABIMS), interpretasi dalil agama, dan bobot yang diberikan pada hasil hisab versus rukyat, akan dianalisis secara komprehensif. Demikian pula, ketika terjadi kesamaan dalam penetapan, akan dianalisis kondisi astronomis dan faktor-faktor lain yang mendukung kesepakatan tersebut.

Berikut adalah tabel ringkasan data hisab dan hasil rukyat untuk studi kasus awal Ramadan dan Syawal di Indonesia, sebagai ilustrasi untuk tahun-tahun signifikan.

Tabel 9.2: Ringkasan Data Hisab dan Hasil Rukyat untuk Studi Kasus Awal Ramadan dan Syawal di Indonesia (Contoh: 1443H & 1444H)

Tahun (H/M)	Peristiwa	Tanggal Observasi Kritis	Data Hisab Kemenag (MABIMS) (Tinggi/Elongasi)	Data Hisab Muhammadiyah (Wujudul Hilal) (Status/Tinggi)	Data Hisab NU (Imkanur Rukyat) (Tinggi/Elongasi)	Laporan Rukyat Nasional (Kemenag) (Hasil, Lokasi Kunci)	Keputusan Resmi Kemenag	Keputusan Muhammadiyah	Keputusan NU

						Kondisi)			
1443 H / 2022 M	Awal Rama dan	1 April 2022	<3° / <6.4° (di sebag ian besar wilaya h) ²⁹	Suda h Wujud / +02°1 8'12" (Yogy akarta) ¹⁴⁶	Umu mnya sejala n Keme nag ³⁰	Tidak Terlih at (awan , hujan, tinggi renda h) ³⁰	3 April 2022 ³⁰	2 April 2022 ¹⁴⁶	3 April 2022 ³⁰
1444 H / 2023 M	Awal Syaw al	20 April 2023	0°44'- 2°21' / 2°19'- 4°0' (belu m MABI MS) ¹⁵¹	Suda h Wujud / 0°44'- 2°21' ¹⁵¹	Umu mnya sejala n Keme nag ²⁸	Tidak Terlih at (rend ah, awan) ²⁸	22 April 2023 ²⁸	21 April 2023 ¹⁵¹	22 April 2023 ²⁸
1445 H / 2024 M (Cont oh)	Awal Rama dan	10 Maret 2024	Para meter Kritis	Para meter Kritis	Para meter Kritis	Hasil Rukya t	Tangg al	Tangg al	Tangg al
1445 H / 2024 M (Cont oh)	Awal Syaw al	9 April 2024	Para meter Kritis	Para meter Kritis	Para meter Kritis	Hasil Rukya t	Tangg al	Tangg al	Tangg al

Catatan: Data untuk 1445 H bersifat contoh dan perlu diisi dengan data aktual.

Parameter tinggi dan elongasi adalah rentang atau nilai representatif untuk Indonesia.

Tabel ini secara konkret menunjukkan bagaimana perbedaan kriteria dan metodologi (hisab versus rukyat, Wujudul Hilal versus MABIMS) menghasilkan penetapan awal bulan yang berbeda atau sama di Indonesia. Ini memberikan bukti empiris untuk diskusi tentang implikasi perbedaan kriteria. Dengan menyajikan data hisab dari berbagai entitas kunci (Kemenag, Muhammadiyah, NU) bersama dengan hasil rukyat nasional dan keputusan akhir, tabel ini memetakan proses dan hasil secara jelas. Hal ini memungkinkan analisis perbandingan langsung: kapan mereka sepakat, kapan mereka berbeda, dan parameter astronomis apa yang menjadi titik kritis perbedaan tersebut. Tabel ini akan menjadi rujukan penting untuk memahami dinamika penentuan awal bulan di Indonesia dan kompleksitas upaya unifikasinya.

- **9.3.2 Tinjauan Kritis terhadap Kasus-Kasus Kontroversial Penentuan Hilal Internasional (Fokus pada Arab Saudi)**

Penentuan awal bulan Kamariyah di tingkat internasional, khususnya yang dilakukan oleh Arab Saudi, seringkali menjadi sorotan dan memicu kontroversi. Hal ini disebabkan posisi Arab Saudi sebagai tempat pelaksanaan ibadah Haji dan Umrah, serta kecenderungan beberapa negara atau komunitas Muslim di dunia untuk mengikuti keputusannya.

- **Evaluasi Laporan Rukyat versus Prediksi Astronomis Berdasarkan Kriteria Internasional**

Kasus-kasus kontroversial yang sering muncul adalah ketika laporan rukyat resmi dari Arab Saudi menyatakan hilal terlihat, padahal menurut prediksi astronomis berdasarkan kriteria internasional yang diakui (seperti kriteria Odeh atau Yallop), hilal pada saat itu belum mungkin untuk dilihat, bahkan dengan alat bantu optik. Dua contoh kasus yang menonjol adalah penetapan Idul Fitri pada April 2023 (Syawal 1444 H) dan Idul Adha pada Juni 2024 (Zulhijah 1445 H).

Untuk **Idul Fitri April 2023 (Syawal 1444 H)**, Arab Saudi mengumumkan Idul Fitri jatuh pada hari Jumat, 21 April 2023, yang berarti hilal dilaporkan terlihat pada Kamis malam, 20 April 2023.¹⁵⁰ Namun, banyak astronom dan lembaga astronomi internasional menyatakan bahwa pada tanggal 20 April 2023 petang, hilal secara astronomis tidak mungkin terlihat di wilayah Semenanjung Arab.¹⁵⁴ Laporan dari ICOP untuk tanggal 20 April 2023 di Arab Saudi juga menunjukkan hasil "tidak terlihat" dari beberapa pengamat, meskipun ada juga laporan "terlihat" yang kemudian menjadi dasar keputusan resmi.¹⁰¹ Data dari

Moonsighting.com untuk tanggal tersebut juga mencatat bahwa hilal sulit terlihat bahkan di Amerika Serikat dan sebagian Kanada, dan baru akan mudah terlihat di seluruh dunia pada 21 April.¹⁵⁰

Situasi serupa terjadi pada penentuan **Idul Adha Juni 2024 (Zulhijah 1445 H)**. Arab Saudi mengumumkan bahwa hilal Zulhijah terlihat pada Kamis malam, 6 Juni 2024, sehingga 1 Zulhijah 1445 H jatuh pada Jumat, 7 Juni 2024, dan Idul Adha pada Minggu, 16 Juni 2024.¹⁵⁴ Namun, analisis astronomis dari berbagai pihak, termasuk BMKG Indonesia, menunjukkan bahwa pada saat matahari terbenam tanggal 6 Juni 2024 di Arab Saudi, ketinggian hilal hanya berkisar 1-2 derajat dengan elongasi sekitar 5 derajat.¹⁶¹ Data dari ICOP untuk tanggal 6 Juni 2024 menunjukkan bahwa secara global, hilal tidak mungkin terlihat di sebagian besar wilayah, termasuk Arab Saudi, dan baru mungkin terlihat dengan alat optik di sebagian kecil Amerika.¹⁵ Parameter ini berada di bawah ambang batas kriteria MABIMS (3° tinggi, 6.4° elongasi) dan bahkan di bawah batas minimal untuk kenampakan mata telanjang menurut kriteria Odeh. Adanya laporan "impossible sightings" dari Arab Saudi ini¹⁵⁴ menunjukkan adanya perbedaan fundamental dalam metodologi atau kriteria yang diterapkan, atau bahkan kemungkinan adanya faktor non-astronomis yang berperan dalam pengambilan keputusan. Ketika astronom seperti Adel al-Saadoun menantang otoritas Saudi untuk mempublikasikan bukti fotografis hilal Syawal 1444 H dan tidak ada foto resmi yang meyakinkan yang diberikan¹⁵⁴, hal ini meningkatkan skeptisisme di kalangan komunitas ilmiah. Meskipun ada klaim mengenai penggunaan kamera CCD inframerah¹⁵⁴, metode ini berbeda dengan rukyat visual (mata telanjang atau teleskop optik) yang menjadi dasar banyak tradisi fikih dan kriteria visibilitas internasional.

- o **Analisis Discrepancies dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya**
Penyebab utama perbedaan antara laporan rukyat resmi Arab Saudi dan prediksi astronomis internasional dapat ditelusuri ke beberapa faktor.

Pertama, perbedaan kriteria visibilitas yang digunakan. Arab Saudi diyakini menggunakan kriteria yang sangat minimalis, kemungkinan mirip dengan Wujudul Hilal atau bahkan hanya *wiladatul hilal* (kelahiran hilal astronomis secara geosentris), di mana keberadaan bulan di atas ufuk setelah ijtimak sudah dianggap cukup, tanpa memperhatikan syarat-syarat kenampakan visual yang ketat seperti ketinggian dan elongasi minimal tertentu.¹⁶¹ Ini sangat kontras dengan kriteria Imkanur Rukyat MABIMS atau kriteria berbasis data

observasi global seperti Odeh dan Yallop.

Kedua, penggunaan Kalender Ummul Qura oleh Arab Saudi.¹⁵⁴ Kalender Ummul Qura adalah kalender pra-hitung yang telah menetapkan tanggal-tanggal penting jauh hari sebelumnya. Terdapat indikasi kuat bahwa laporan rukyat di Arab Saudi seringkali, atau bahkan selalu, sesuai dengan tanggal yang telah ditetapkan dalam Kalender Ummul Qura, meskipun kondisi astronomis pada hari pengamatan tersebut menurut standar internasional sangat tidak memungkinkan untuk melihat hilal. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa proses rukyat di Arab Saudi mungkin lebih bersifat formalitas untuk mengkonfirmasi kalender yang sudah ada, daripada menjadi penentu utama awal bulan, terutama dalam kasus-kasus kritis di mana parameter hilal sangat minim. Implikasi dari praktik ini sangat besar, mengingat banyak negara dan komunitas Muslim di seluruh dunia yang mengikuti keputusan Arab Saudi tanpa melakukan verifikasi independen yang mendalam.

Ketiga, kurangnya transparansi dalam proses verifikasi kesaksian rukyat di Arab Saudi juga menjadi faktor yang signifikan.¹⁵⁴ Tanpa adanya publikasi data pendukung yang detail, seperti foto hilal yang jelas, parameter astronomis hasil perhitungan lokal saat observasi, dan detail kondisi pengamatan dari para saksi, sulit bagi komunitas ilmiah internasional untuk melakukan validasi independen terhadap klaim kesaksian tersebut. Ketiadaan bukti empiris yang dapat diverifikasi secara publik ini membuka ruang untuk spekulasi dan mengurangi tingkat kepercayaan terhadap laporan rukyat dari wilayah tersebut, terutama ketika laporan tersebut bertentangan dengan prediksi ilmiah yang kuat.

Berikut adalah tabel analisis komparatif laporan rukyat internasional dengan prediksi astronomis, dengan fokus pada studi kasus Arab Saudi.

Tabel 9.3: Analisis Komparatif Laporan Rukyat Internasional dengan Prediksi Astronomis (Studi Kasus Arab Saudi untuk Syawal 1444H & Zulhijah 1445H)

Peristiwa	Tanggal Observasi Kritis (M)	Laporan Rukyat Resmi Saudi	Parameter Astronomis di Riyadh/Makkah saat	Prediksi Visibilitas (Contoh: Odeh/Yallop)	Analisis Potensi Diskrepansi

			Maghrib (Prediksi Kriteria Internasional)		
Awal Syawal 1444H	20 April 2023	Hilal terlihat, Idul Fitri 21 April 2023 ¹⁵⁰	Tinggi: sangat rendah; Elongasi: sangat kecil (detail spesifik perlu dihitung dari software/efemeris untuk tanggal & lokasi tersebut)	Menurut astronom, tidak mungkin terlihat di Semenanjung Arab. ¹⁵⁴ Peta ICOP: Tidak terlihat/hanya dengan alat optik di sebagian kecil Amerika. ¹⁵⁹	Laporan rukyat Saudi bertentangan dengan prediksi astronomis internasional. Kemungkinan penggunaan kriteria minimalis (mirip Wujudul Hilal/Wiladat ul Hilal) atau kesesuaian dengan Kalender Ummul Qura. Kurangnya bukti foto yang meyakinkan. ¹⁵⁴
Awal Zulhijah 1445H	6 Juni 2024	Hilal terlihat, 1 Zulhijah 7 Juni 2024 ¹⁵⁴	Tinggi: 1-2° (Makkah/Riyadh); Elongasi: ~5° ¹⁵	Peta ICOP: Tidak terlihat di Saudi, mungkin dengan alat optik di sebagian Amerika. ¹⁵ BMKG:	Parameter astronomis di bawah ambang batas MABIMS dan kriteria Odeh/Yallop untuk rukyat

				Terlalu rendah untuk diamati di Saudi. ¹⁶²	mata telanjang. Laporan rukyat Saudi kembali diduga kuat mengikuti Kalender Ummul Qura daripada kondisi visibilitas aktual yang diakui secara internasional . ¹⁵⁴

Catatan: Parameter astronomis spesifik untuk Riyadh/Makkah pada tanggal tersebut memerlukan perhitungan menggunakan perangkat lunak astronomi dengan data efemeris yang akurat. Prediksi visibilitas dapat bervariasi sedikit tergantung pada model dan asumsi yang digunakan.

Tabel ini krusial untuk menyoroti kontroversi internasional dan membandingkan klaim rukyat dengan data astronomis objektif. Ini memberikan dasar ilmiah untuk diskusi tentang validitas laporan dan perbedaan kriteria di tingkat global. Dengan menyajikan laporan rukyat resmi Saudi berdampingan dengan parameter astronomis yang dihitung secara independen (menggunakan kriteria internasional seperti Odeh/Yallop), potensi diskrepansi menjadi jelas. Hal ini memungkinkan analisis objektif apakah laporan rukyat tersebut konsisten dengan prediksi ilmiah berdasarkan kriteria yang diakui secara luas. Tabel ini akan menjadi dasar untuk membahas isu kepercayaan, metodologi, dan tantangan dalam unifikasi kalender global, serta menyoroti pentingnya transparansi dan penggunaan data empiris yang dapat diverifikasi dalam penentuan awal bulan Kamariyah.

9.4 Implikasi Perbedaan Kriteria dalam Penentuan Awal Bulan Kamariyah

Sub-bab ini akan menggali lebih dalam mengenai landasan fikih dan ilmiah dari berbagai kriteria hilal yang dominan digunakan, serta menganalisis dampak sosio-religius yang timbul akibat perbedaan dalam penerapan kriteria tersebut. Selain itu,

akan dibahas pula berbagai upaya dan tantangan dalam menuju unifikasi kalender Hijriah.

- **9.4.1 Landasan Fikih dan Ilmiah dari Kriteria-Kriteria Utama**

Perbedaan dalam penentuan awal bulan Kamariyah seringkali berakar pada perbedaan interpretasi terhadap dalil-dalil agama (Al-Qur'an dan Hadis) serta perbedaan dalam pendekatan ilmiah yang digunakan untuk menerjemahkan dalil tersebut ke dalam parameter astronomis yang operasional.

- **Kajian Istinbath Hukum dan Argumen Ilmiah untuk Kriteria Wujudul Hilal**

Kriteria Wujudul Hilal, yang secara konsisten digunakan oleh organisasi Muhammadiyah di Indonesia, memiliki landasan fikih dan argumen ilmiah tersendiri. Secara fikih, pendukung Wujudul Hilal seringkali merujuk pada pemahaman kontekstual terhadap dalil-dalil Al-Qur'an, seperti QS. Yunus (10): 5 yang menyatakan bahwa Allah menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya serta menetapkan manzilah-manzilah (tempat-tempat orbitnya) agar manusia mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu), dan QS. Ar-Rahman (55): 5 yang menyebutkan bahwa matahari dan bulan beredar menurut perhitungan.³¹ Ayat-ayat ini ditafsirkan sebagai dorongan untuk menggunakan ilmu hisab (perhitungan astronomis) karena kemampuannya memberikan kepastian. Argumen lainnya adalah bahwa hisab, sebagai produk ijtihad ilmiah, memiliki kedudukan yang setara dengan rukyat (pengamatan fisik) dalam menentukan awal bulan, dan bahkan dapat memberikan kepastian yang lebih tinggi serta kemaslahatan yang lebih luas karena kalender dapat disusun jauh hari sebelumnya.¹⁰ Majelis Tarjih dan Tajdid Pimpinan Pusat Muhammadiyah, sebagai lembaga yang bertanggung jawab atas penetapan ini, melakukan *istinbath al-hukm* (pengambilan hukum) yang didasarkan pada prinsip-prinsip ini.⁷⁵

-

Secara ilmiah, kriteria Wujudul Hilal diterjemahkan ke dalam tiga syarat astronomis yang harus terpenuhi pada hari ke-29 bulan berjalan saat matahari terbenam: (1) telah terjadi ijtimak (konjungsi geosentris antara matahari dan bulan); (2) ijtimak tersebut terjadi sebelum matahari terbenam; dan (3) pada saat matahari terbenam, piringan atas bulan berada di atas ufuk (posisi bulan positif).³⁷ Kriteria ini murni bersifat geometris-astronomis dan tidak mempersyaratkan hilal harus terlihat secara visual. Argumen Muhammadiyah seringkali menekankan aspek kemudahan, kepastian, dan kemaslahatan umum (*maslahah 'ammah*) yang dapat dicapai dengan kalender yang dapat diprediksi secara akurat dan jauh di muka. Pendekatan ini berbeda dengan penekanan

pada aspek *ta'abbudi* (ritual murni) dari rukyat fisik yang dipegang oleh kelompok lain. Perbedaan filosofis dalam memahami tujuan syariat (*maqasid shari'ah*) ini menjadi salah satu dasar dari perbedaan metodologis dalam penentuan awal bulan. Muhammadiyah berpandangan bahwa hisab adalah alat (*wasilah*) yang valid dan bahkan lebih unggul dalam kondisi tertentu untuk mencapai tujuan ibadah (*shaum*, Id, dll.).¹⁰

- **Kajian Istinbath Hukum dan Argumen Ilmiah untuk Kriteria Imkanur Rukyat (termasuk MABIMS)**

Kriteria Imkanur Rukyat (kemungkinan terlihatnya hilal) didasarkan pada prinsip bahwa awal bulan baru ditandai dengan terlihatnya hilal secara fisik setelah matahari terbenam pada tanggal 29 bulan berjalan. Pendukung kriteria ini, seperti Nahdlatul Ulama (NU) dan umumnya pemerintah negara-negara MABIMS (termasuk Kementerian Agama RI), sangat menekankan pentingnya pelaksanaan rukyat fisik sebagai implementasi langsung dari perintah Hadis Nabi Muhammad SAW, seperti "Berpuasalah kalian karena melihatnya (hilal) dan berbukalah (Idul Fitri) kalian karena melihatnya (hilal). Jika pandangan kalian terhalang oleh awan, maka sempurnakanlah bilangan bulan Syakban menjadi tiga puluh hari."²⁷ Hadis-hadis semacam ini dipahami secara tekstual sebagai perintah untuk melakukan observasi visual.

Untuk mengobjektifikasi proses rukyat dan memberikan panduan hisab, dirumuskanlah kriteria Imkanur Rukyat dengan parameter astronomis tertentu yang dianggap memungkinkan hilal untuk terlihat. Kriteria MABIMS adalah salah satu bentuk konkret dari Imkanur Rukyat. Kriteria MABIMS lama menetapkan ambang batas minimal tinggi hilal 2 derajat, elongasi 3 derajat, atau umur bulan 8 jam.²⁵ Seiring dengan perkembangan ilmu astronomi dan analisis data rukyat yang lebih ekstensif, kriteria ini direvisi menjadi Neo-MABIMS dengan tinggi hilal minimal 3 derajat dan elongasi minimal 6.4 derajat.³⁵ Landasan ilmiah di balik penetapan ambang batas ini adalah upaya untuk mencari titik temu antara perhitungan astronomis dengan kemungkinan empiris terlihatnya hilal. Data rukyat global, termasuk dari ICOP dan penelitian Mohammad Odeh, seringkali menjadi rujukan dalam perumusan atau justifikasi parameter-parameter ini.⁶⁷

Meskipun kriteria Imkanur Rukyat MABIMS bertujuan untuk memberikan panduan yang lebih objektif dan menyatukan, penerapannya tetap menghadapi tantangan interpretasi. Salah satu perdebatan adalah apakah

terpenuhinya kriteria MABIMS berdasarkan hisab sudah cukup untuk menetapkan awal bulan, ataukah tetap harus ada laporan rukyat yang berhasil dari lapangan.¹⁶¹ Di Indonesia, pemerintah (Kemenag) dan NU umumnya mengikuti kriteria MABIMS, namun keputusan akhir dalam sidang isbat sangat mempertimbangkan laporan hasil rukyat. Jika tidak ada laporan rukyat yang kredibel dan memenuhi syarat, maka bulan berjalan akan diistimikan (digenapkan menjadi 30 hari), meskipun data hisab menunjukkan bahwa parameter MABIMS telah terpenuhi. Hal ini menunjukkan adanya spektrum dalam penerapan Imkanur Rukyat itu sendiri, di mana bobot yang diberikan pada hasil hisab versus hasil rukyat aktual dapat bervariasi. Evolusi kriteria MABIMS dari versi lama ke Neo-MABIMS mencerminkan upaya berkelanjutan untuk menyelaraskan kriteria dengan data observasi terbaru dan kemajuan ilmu astronomi. Namun, kritik terhadap penerapan Neo-MABIMS di wilayah tropis seperti Indonesia⁶, yang mengusulkan parameter berdasarkan analisis kontras maksimum hilal terhadap langit senja, menunjukkan bahwa proses penyempurnaan kriteria ini belum final. Wilayah tropis dengan karakteristik atmosfernya yang khas (kelembaban tinggi, potensi tutupan awan yang signifikan) mungkin memerlukan penyesuaian atau kriteria turunan yang lebih spesifik untuk memastikan relevansi empiris. Ini menjadi area penelitian yang terus aktif dalam bidang Astronomi, di mana data observasi lokal yang akurat dan berkelanjutan sangat diperlukan untuk validasi dan pengembangan kriteria lebih lanjut.

- **9.4.2 Dampak Sosio-Religius dan Upaya Unifikasi Kalender Hijriah**
Perbedaan dalam penetapan awal bulan Kamariyah, khususnya untuk bulan-bulan penting seperti Ramadan, Syawal, dan Zulhijah, memiliki dampak sosio-religius yang signifikan bagi umat Islam. Upaya untuk mencapai unifikasi kalender Hijriah, baik di tingkat nasional maupun global, terus dilakukan meskipun menghadapi berbagai tantangan.
 - **Analisis Konsekuensi Perbedaan Penetapan Awal Bulan bagi Umat Islam**
Perbedaan dalam memulai dan mengakhiri ibadah puasa Ramadan, serta perayaan Idul Fitri dan Idul Adha, dapat menimbulkan kebingungan dan terkadang keresahan di tengah masyarakat Muslim.²⁷ Ketika sebagian umat Islam telah memulai puasa atau merayakan hari raya sementara sebagian lainnya belum, hal ini dapat mengganggu harmoni sosial dan ukhuwah Islamiyah, meskipun seringkali disikapi dengan toleransi.⁴⁰ Dampaknya tidak hanya bersifat ritual individual, tetapi juga meluas ke aktivitas komunal dan bahkan kebijakan publik. Misalnya, penentuan hari libur nasional untuk Idul Fitri

dan Idul Adha menjadi kompleks jika ada perbedaan tanggal perayaan di antara kelompok-kelompok Muslim mayoritas.²⁷ Keluarga dan komunitas mungkin menghadapi kesulitan logistik dalam merencanakan kegiatan bersama, seperti silaturahmi atau penyembelihan hewan kurban.¹⁷² Secara ekonomi, ketidakpastian tanggal hari raya juga dapat mempengaruhi sektor bisnis yang terkait dengan perayaan tersebut.¹⁷² Lebih jauh, perbedaan ini terkadang dieksploitasi atau memperuncing polarisasi antar kelompok Islam yang memiliki pandangan fikih atau metodologi yang berbeda.¹⁷¹

- **Tantangan dan Prospek Unifikasi Kalender Hijriah di Tingkat Nasional dan Global**

Upaya untuk menyatukan kalender Hijriah telah lama diusahakan, namun menghadapi tantangan yang bersifat multidimensional. Secara **teknis-astronomis**, tantangan utamanya adalah mencapai kesepakatan mengenai kriteria visibilitas hilal yang akan digunakan secara bersama.⁴² Setiap kriteria memiliki landasan dan implikasi yang berbeda, sehingga memilih satu kriteria yang dapat diterima oleh semua pihak menjadi sulit.

Dari perspektif **fikih-yuridis**, perbedaan interpretasi terhadap dalil-dalil Al-Qur'an dan Hadis mengenai rukyat dan hisab menjadi sumber utama perbedaan pendapat.⁴⁰ Selain itu, persoalan otoritas penetapan awal bulan juga menjadi perdebatan: apakah penetapan bersifat lokal, regional (misalnya, konsep *wilayatul hukmi* MABIMS³⁷), atau global (satu rukyat berlaku untuk seluruh dunia).¹⁷⁴ Konsep *matla'* (horison atau tempat terbitnya hilal) dan batas-batas geografisnya menjadi diskusi penting dalam konteks ini.⁶⁹ Secara **sosio-politik**, penerimaan umat terhadap suatu kalender terpadu sangat bergantung pada kepercayaan terhadap lembaga yang menetapkannya dan proses yang dilaluinya.²⁷ Peran pemerintah, organisasi massa Islam, dan lembaga-lembaga Islam internasional menjadi krusial. Di Indonesia, upaya pemerintah melalui Kementerian Agama untuk memfasilitasi sidang isbat dan mendorong penggunaan kriteria MABIMS adalah contoh konkret dari upaya unifikasi di tingkat nasional.²⁷ Namun, selama belum ada kesepakatan penuh dari semua pihak, perbedaan akan tetap ada. Beberapa gagasan untuk unifikasi global telah diusulkan, seperti Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) yang didasarkan pada hisab dengan kriteria tertentu yang berlaku universal.⁶³ Prinsip-prinsip yang diusulkan oleh pemikir seperti Syamsul Anwar, yang mencakup penerimaan total terhadap hisab, konsep transfer imkanur rukyat (jika hilal terlihat di satu tempat maka berlaku

untuk tempat lain yang secara astronomis memungkinkan meskipun belum terlihat secara lokal), penetapan satu *matla'* untuk seluruh dunia, dan kesepakatan mengenai garis tanggal internasional versi Islam, juga menjadi bahan diskusi penting.¹⁷⁴ Tantangan utama dari gagasan kalender global adalah kurangnya pemahaman dan penerimaan dari sebagian besar umat Islam yang masih memegang teguh tradisi rukyat lokal atau regional, serta belum adanya otoritas tunggal yang diakui secara global untuk menetapkan dan memberlakukan kalender tersebut.

Prospek unifikasi kalender Hijriah, meskipun sulit, bukanlah sesuatu yang mustahil. Pendekatan yang lebih realistis mungkin dimulai dari penguatan kesepakatan dan implementasi yang seragam di tingkat regional, seperti yang diupayakan oleh negara-negara MABIMS.⁶³ Keberhasilan di tingkat regional dapat menjadi model dan membangun momentum serta kepercayaan untuk upaya unifikasi di skala yang lebih besar. Dialog yang konstruktif dan berkelanjutan antara para ahli fikih, astronom, perwakilan pemerintah, dan tokoh masyarakat dari berbagai latar belakang menjadi kunci untuk menjembatani perbedaan pandangan dan mencapai solusi yang dapat diterima secara luas demi kemaslahatan umat Islam.

9.5 Kesimpulan

Analisis data hilal, baik melalui pengamatan langsung (rukyat) maupun perhitungan astronomis (hisab), menunjukkan kompleksitas yang inheren dalam penentuan awal bulan Kamariyah. Studi kasus dari berbagai lokasi, terutama di Indonesia, serta perbandingan dengan praktik internasional seperti di Arab Saudi, secara konsisten menyoroti bagaimana perbedaan dalam kriteria visibilitas dan metodologi penetapan menghasilkan variasi dalam penentuan awal Ramadan dan Syawal.

Data rukyat global, seperti yang dikompilasi oleh ICOP, mengungkapkan bahwa keberhasilan pengamatan hilal tidak hanya bergantung pada parameter geometris bulan-matahari, tetapi juga dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi atmosfer lokal, pengalaman pengamat, dan penggunaan teknologi bantu. Di Indonesia, variasi geografis dan kondisi atmosfer tropis yang khas menambah lapisan kompleksitas, seringkali menghasilkan perbedaan hasil rukyat antar wilayah meskipun parameter astronomisnya relatif serupa. Hal ini mengindikasikan perlunya model prediksi yang lebih terperinci dan mungkin bersifat probabilistik untuk wilayah Indonesia.

Evaluasi terhadap berbagai kriteria visibilitas—mulai dari Wujudul Hilal yang menekankan keberadaan astronomis bulan di atas ufuk, hingga berbagai formulasi Imkanur Rukyat seperti MABIMS (lama dan Neo), Odeh, dan Yallop yang mencoba mengobjektifikasi ambang batas kenampakan visual—menunjukkan bahwa tidak ada satu kriteria pun yang sempurna dan diterima secara universal. Setiap kriteria memiliki landasan fikih dan ilmiahnya masing-masing, serta kekuatan dan kelemahan dalam hal akurasi prediksi dan tingkat penerimaan oleh kelompok masyarakat yang berbeda. Kriteria Neo-MABIMS (tinggi 3° , elongasi 6.4°), sebagai upaya terbaru unifikasi regional di Asia Tenggara, meskipun didasarkan pada data observasi yang lebih luas, masih menghadapi kritik dan memerlukan validasi lebih lanjut, terutama untuk kondisi spesifik di wilayah tropis.

Studi kasus penentuan awal Ramadan dan Syawal di Indonesia secara gamblang mengilustrasikan dampak praktis dari perbedaan kriteria ini. Keputusan Muhammadiyah yang berdasarkan Wujudul Hilal seringkali berbeda satu hari dengan keputusan pemerintah (Kemenag) dan NU yang mengacu pada Imkanur Rukyat MABIMS dan hasil rukyat fisik. Sementara itu, praktik di Arab Saudi, yang seringkali keputusannya diikuti oleh sebagian umat Islam di dunia, menunjukkan adanya potensi diskrepansi antara laporan rukyat resmi dengan prediksi astronomis berdasarkan kriteria internasional, yang seringkali dikaitkan dengan penggunaan Kalender Ummul Qura yang pra-hitung.

Implikasi dari perbedaan kriteria ini melampaui aspek teknis-astronomis dan fikih semata. Perbedaan penetapan awal bulan berdampak pada pelaksanaan ibadah komunal, harmoni sosial, dan bahkan kebijakan publik. Upaya unifikasi kalender Hijriah, baik di tingkat nasional maupun global, menghadapi tantangan yang kompleks, mencakup aspek metodologis, otoritas penetapan, dan penerimaan masyarakat.

Ke depan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk:

1. Mengembangkan model prediksi visibilitas hilal yang lebih akurat dan adaptif terhadap kondisi lokal, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia, dengan memanfaatkan kemajuan dalam pengolahan citra digital dan *machine learning*.
2. Melakukan validasi kuantitatif yang berkelanjutan terhadap berbagai kriteria visibilitas menggunakan data rukyat historis dan kontemporer yang komprehensif dan terstandarisasi.
3. Mendorong dialog yang konstruktif dan berbasis bukti ilmiah antara berbagai pihak (ulama, astronom, pemerintah, dan organisasi masyarakat) untuk mencari titik temu dan membangun konsensus mengenai kriteria dan mekanisme penetapan

awal bulan Kamariyah yang dapat diterima secara lebih luas, demi tercapainya kemaslahatan dan persatuan umat Islam.

Pada akhirnya, pemahaman yang mendalam terhadap data hilal, analisis kritis terhadap berbagai kriteria, dan kesadaran akan implikasi yang lebih luas dari perbedaan penetapan menjadi landasan penting dalam upaya menuju sistem kalender Hijriah yang lebih harmonis dan dapat diandalkan.

Karya yang dikutip

1. Essential Guide to Moonsighting Ramadan: Dates and Significance - Studio Arabiya, diakses Mei 10, 2025, <https://studioarabiya.com/moonsighting-ramadan/>
2. مركز الفلك الدولي | International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/?&l=en>
3. Islamic Crescents Observation Project (ICOP) - International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop.html?l=en>
4. (PDF) New Criterion for Lunar Crescent Visibility - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/225099773_New_Criterion_for_Lunar_Crescent_Visibility
5. مركز الفلك الدولي | International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/?&l=en>
6. Confirmation methodology for a lunar crescent sighting report - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/371110782_Confirmation_methodology_for_a_lunar_crescent_sighting_report
7. auass.net, diakses Mei 10, 2025, <https://auass.net/wp-content/uploads/2024/03/1-s2.0-S0019103524000289-main.pdf>
8. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Malaysian Journal of Science, diakses Mei 10, 2025, <https://mjs.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192/166068>
9. Design, Development and Analysis of Lunar Crescent Visibility Criterion With Python, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385007578_Design_Development_and_Analysis_of_Lunar_Crescent_Visibility_Criterion_With_Python
10. Moderate Way Implementing Rukyat and Hisab to Determine A New Moon in Ramadan, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/368882833_Moderate_Way_Implementing_Rukyat_and_Hisab_to_Determine_A_New_Moon_in_Ramadan
11. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Malaysian Journal of International Relations, diakses Mei 10, 2025,

- <https://mjir.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
12. Materials on the Moon - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/379413884 Materials on the Moon](https://www.researchgate.net/publication/379413884_Materials_on_the_Moon)
 13. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Universiti Malaya, diakses Mei 10, 2025, <https://jummec.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
 14. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion | Malaysian ..., diakses Mei 10, 2025, <https://mjs.um.edu.my/index.php/MJS/article/view/44110>
 15. Visibility of Dhul Hijjah Crescent 1445 AH - International ..., diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/hej45.html?l=en>
 16. Moon - Moon Sighting UK, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.org.uk/moon.html>
 17. jurnal.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/alhisab/article/download/21764/pdf>
 18. Variasi Lokal Pelaksanaan Rukyatul Hilal Dalam Penentuan Awal ..., diakses Mei 10, 2025, <https://ejournal.uinsaizu.ac.id/index.php/jpa/article/download/11204/3916/34564>
 19. journal.uin-alauddin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/26772/15943>
 20. jurnal.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/1526/1571>
 21. The Impact of Light Pollution on Islamic New Moon (hilal) Observation - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/319873512 The Impact of Light Pollution on Islamic New Moon hilal Observation](https://www.researchgate.net/publication/319873512_The_Impact_of_Light_Pollution_on_Islamic_New_Moon_hilal_Observation)
 22. Scientific Analysis of Evaluating the Methodology of Confirming Hilal Observing Reports in Determining the Beginning of the Hijri Month - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/390928269 Scientific Analysis of Evaluating the Methodology of Confirming Hilal Observing Reports in Determining the Beginning of the Hijri Month](https://www.researchgate.net/publication/390928269_Scientific_Analysis_of_Evaluating_the_Methodology_of_Confirming_Hilal_Observing_Reports_in_Determining_the_Beginning_of_the_Hijri_Month)
 23. Sighting of the Moon/Crescent - Al Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://www.alislam.org/articles/sighting-of-moon-crescent/>
 24. Hilal adalah: Pengertian, Kriteria dan Cara Melihatnya - Feeds Liputan6.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.liputan6.com/feeds/read/5755543/hilal-adalah-pengertian-kriteria-dan-cara-melihatnya>
 25. Arti Hilal: Pengertian, Sejarah, dan Signifikansinya dalam Islam - Feeds Liputan6.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.liputan6.com/feeds/read/5922712/arti-hilal-pengertian-sejarah-dan-signifikansinya-dalam-islam>
 26. Prepared by Central Hilal Committee, diakses Mei 10, 2025, <https://hilalcommittee.org/uploads/files/4fe714ab-34e3-4512-91b6-b01d0be74451.pdf>

27. The Role of Public Law in Determining the Islamic Calendar in Indonesia, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25485/6703>
28. Pemerintah Tetapkan Idul Fitri 1444 H Jatuh pada Sabtu 22 April 2023 - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nu.or.id/nasional/pemerintah-tetapkan-idul-fitri-1444-h-jatuh-pada-sabtu-22-april-2023-4LSvp>
29. Kapan Puasa Ramadhan 1443 H, 2022 di Mulai - SIPDeskel Desa ..., diakses Mei 10, 2025, <https://ramaklandungan.desa.id/pages/articles/artikel.aspx?id=4441>
30. Penetapan Awal Ramadan 2022, Ini Menurut NU-Muhammadiyah ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jabar/berita/d-6012305/penetapan-awal-ramadan-2022-ini-menurut-nu-muhammadiyah-jabar>
31. Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and Hisab Hakiki Wujudul Hilal Disputes for Muslims in Indonesia - Pharos Journal of Theology, diakses Mei 10, 2025, https://www.pharosjot.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_10_105_2_april_indonesia.pdf
32. NEO-VISIBILITAS HILAL MABIMS DAN AWAL RAMADAN 1446 H (Prof Susiknan Azhari, Guru Besar Fak.Syariah dan... - UIN SUNAN KALIJAGA, diakses Mei 10, 2025, <https://uin-suka.ac.id/id/show/kolom/286/neo-visibilitas-hilal-mabims-dan-awal-ramadan-1446-h-prof-susiknan-azhari-guru-besar-faksyariah-dan-hukum-uin-sunan-kalijaga>
33. Penentuan Hilal Ramadhan 1443 H, BMKG Ungkap Potensi Hasil Rukyat Awal Puasa Halaman all - Kompas.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.com/sains/read/2022/03/21/170100223/penentuan-hilal-ramadhan-1443-h-bmkg-ungkap-potensi-hasil-rukayat-awal?page=all>
34. BMKG: Kecil Potensi Hilal Terlihat 1 April 2022, Ini Awal Puasa Menurut Muhammadiyah Halaman all - Kompas.com, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.com/tren/read/2022/03/21/163000465/bmkg-kecil-potensi-hilal-terlihat-1-april-2022-ini-awal-puasa-menurut?page=all>
35. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining ... - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/122413/menentukan-awal-bulan-hijriah-kombinasi-ilmu-astronomi-dan-rukayat-dalam-penetapan-hilal>
36. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining Astronomy and Rukyat in Hilal Determination - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukayat-in-hilal-determination>
37. Istiḥāḥ - Jurnal of Islamic Law/Jurnal Hukum Islam - ISSN 1829-6505 vol. 18, No. 1. p. 1-264 - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/418702-none-3469403c.pdf>
38. ELFALAKY: Jurnal Astronomi STUDI KOMPARASI KRITERIA AWAL BULAN KAMARIAH KALENDER FAZILET DAN KRITERIA MABIMS Irfan Astronomi - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin->

- alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/36469/17699
39. THE ROLE OF WOMEN IN THE RUKYAT HILAL ACCORDING TO THE NORTH ACEH ULEMA CONSULTATIVE ASSEMBLY - Semantic Scholar, diakses Mei 10, 2025,
<https://pdfs.semanticscholar.org/36a2/628a5e13e1c3d5f918074f4be96af3a0deac.pdf>
 40. (PDF) Differences in Determining Ramadan and Shawwal: A ..., diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/390533238_Differences_in_Determining_Ramadan_and_Shawwal_A_Discourse_Analysis_of_The_Book_Nusus_Al-Akhyar
 41. Fiqh al-Ihtilaf and Science: Discourse of Preliminary Differences of Lunation in Indonesia, diakses Mei 10, 2025,
<https://ejournal.iainmadura.ac.id/index.php/karsa/article/download/2001/1248/>
 42. ASTROISLAMICA Rekontruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak ..., diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/3642/1454/16041>
 43. ISLAMIC LAW AND SCIENCE IN NU-MUHAMMADIYAH'S LUNAR CALENDAR DETERMINATION, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/23995/6634>
 44. a relevance between matla' wilayah hukum towards the implementation result of rukyatul hilal and wujudul hilal, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/5719/2901>
 45. (PDF) FATWA ULAMA NU (NAHDLATUL ULAMA) DAN MUHAMMADIYAH JAWA TIMUR TENTANG HISAB RUKYAT - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/355816460_FATWA_ULAMA_NU_NA_HDLATUL_ULAMA_DAN_MUHAMMADIYAH_JAWA_TIMUR_TENTANG_HISAB_RUKYAT
 46. Telaah Argumen Metode Hisab dan Rukyat dalam Perspektif Tafsir Kontekstual - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/1166/239/3351>
 47. Urgensi Fatwa dan Sidang Isbat dalam Penentuan Awal Bulan Kamariah di Indonesia - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/929/222>
 48. (PDF) Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and ..., diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/378647552_Islamic_Holy_Days_The_Contention_of_Rukyatul_Hillal_and_Hisab_Hakiki_Wujudul_Hilal_Disputes_for_Muslims_in_Indonesia
 49. The Role of Public Law in Determining the Islamic Calendar in ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25485>
 50. Rekontruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak Implementasi ..., diakses Mei

10, 2025,

<https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/view/3642>

51. diakses Januari 1, 1970, <https://www.nu.or.id/nasional/kemenag-tetapkan-1-ramadhan-1443-h-jatuh-pada-ahad-3-april-2022-मिल्ली>
52. Telaah Argumen Metode Hisab dan Rukyat dalam Perspektif Tafsir ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/view/1166>
53. Urgensi Fatwa dan Sidang Isbat dalam Penentuan Awal Bulan ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/view/929>
54. A RELEVANCE BETWEEN MATLA' WILAYATUL HUKMI TOWARDS ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/5719>
55. ISLAMIC LAW AND SCIENCE IN NU-MUHAMMADIYAH'S LUNAR ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/23995>
56. PENENTUAN BATAS MINIMUM PARAMETER VISIBILITAS HILAL SAAT SUMMER SOLSTICE DAN WINTER SOLSTICE Imas Musfiroh Himpunan Astronomi Am, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/6435/5311>
57. Implementation of the Mabims Criteria in Determining the Beginning of Islamic Month in Indonesia and Brunei Darussalam - Repository UIN Malang, diakses Mei 10, 2025, <http://repository.uin-malang.ac.id/8218/1/8218.pdf>
58. Rekonstruksi Kriteria Visibilitas Hilal MABIMS dari 2, 3, 8 Menuju 3, 6, 4 - IBTimes.ID, diakses Mei 10, 2025, <https://ibtimes.id/visibilitas-hilal-mabims/>
59. Ini Penjelasan Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - Media Indonesia, diakses Mei 10, 2025, <https://mediaindonesia.com/humaniora/747679/ini-penjelasan-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah>
60. ANALISIS BATAS MATHLA' GEOGRAFIS WILAYAH INDONESIA PADA KRITERIA NEO VISIBILITAS MABIMS TESIS Oleh: Novi Arisafitri NIM: 21020 - Repository - Walisongo, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/24683/1/Tesis_2102048004_Novi_Arisafitri.pdf
61. Indonesia Applies New Criteria for Determining the Hijri Month - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/117816/indonesia-applies-new-criteria-for-determining-the-hijri-month>
62. ASTROISLAMICA Pandangan Tokoh Falak tentang Elongasi pada Penentuan Awal Syawal 1443 H dalam Kriteria Neo MABIMS di Indonesia - Rumah Jurnal IAIN Lhokseumawe, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/2762/1330/13061>
63. Respons atas Periset BRIN & Anggota THR Kemenag RI tentang Kriteria MABIMS 3-6.4 dan KHGT - OIF UMSU, diakses Mei 10, 2025, <https://oif.umsu.ac.id/2025/04/respons-atas-periset-brin-anggota-thr-kemenag-ri-tentang-kriteria-mabims-3-6-4-dan-khgt/>
64. Ministry Of Religion: Hilal Awal Ramadan Under New Criteria MABIMS, Possibility Can't Be Observed - VOI, diakses Mei 10, 2025, <https://voi.id/en/news/364201>

65. Digital Hilal Observation: Evaluating the Authenticity of Hilal Testimonials in Indonesia Using the Digistar-6 Planetarium System, diakses Mei 10, 2025, <https://ijor.co.uk/ijor/article/download/4128/2165/11668>
66. The Role of Modern Observation in Understanding the Beginning of the Hijri Month - Journal IAIN Manado, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iain-manado.ac.id/index.php/JIS/article/download/1128/1038>
67. (PDF) Implementasi Kriteria Visibilitas Neo-MABIMS dalam Penentuan Awal Bulan Hijriah, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/381395055_Implementasi_Kriteria_Visibilitas_Neo-MABIMS_dalam_Penentuan_Awal_Bulan_Hijriah
68. Determination of Hijri Calendar in Islamic History and Its Criteria in Southeast Asia, diakses Mei 10, 2025, <https://jml.um.edu.my/index.php/JAT/article/download/45242/17123>
69. Territory, Hilāl, and Sovereignty: Revisiting Indonesia's Maṭla'under MABIMS' New Criteria - Rumah Jurnal UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25278/6722>
70. (PDF) The implementation of new minister of religion of Brunei ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/372056493_The_implementation_of_new_minister_of_religion_of_Brunei_Indonesia_Malaysia_and_Singapore_criteria_towards_the_Hijri_calendar_unification
71. Menakar Ulang Batas Visibilitas Hilal: Kajian Kritis atas Kriteria Baru ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/2218>
72. diakses Januari 1, 1970, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/2218/1278>
73. diakses Januari 1, 1970, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/2218/1278>
74. pemahaman kriteria wujud al-hilal di pd persis cianjur, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/127/1/Dindin_Tesis_Sinopsis.pdf
75. Melihat Lebih Dalam Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://islam.nu.or.id/syariah/melihat-lebih-dalam-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah-ILIVz>
76. Hisab Hakiki Wujudul Hilal, Motode Muhammadiyah Tetapkan 1 Syawal - RRI, diakses Mei 10, 2025, <https://rri.co.id/nasional/1427616/hisab-hakiki-wujudul-hilal-motode-muhammadiyah-tetapkan-1-syawal>
77. journal.uin-alaudhin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alaudhin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/30766/16113>
78. (PDF) Analytic Derivation & Topographic Application of the Crescent ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/380396861_Analytic_Derivation_Topographic_Application_of_the_Crescent_Visibility_Parabola_Function
79. Crescent Conditions for Odeh criterion [17]. | Download Scientific Diagram - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,

- https://www.researchgate.net/figure/Crescent-Conditions-for-Odeh-criterion-17_tbl4_364331452
80. A Simplified Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, https://luk.staff.ugm.ac.id/artikel/Ramadhan/ICOP/ozlem_2014.pdf
 81. (PDF) Determination of Islamic Month Start by Moonsighting Australia (Case Study: 1 Dzulhijah 1441) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/366423052_Determination_of_Islamic_Month_Start_by_Moonsighting_Australia_Case_Study_1_Dzulhijah_1441
 82. Ahead of the Isbat Session, the Hilal for the Beginning of Ramadhan 1445 AH is Difficult to Observe in Indonesia - Kompas.id, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.id/baca/english/2024/03/10/en-hilal-awal-ramadhan-14452024-sulit-diamati-di-indonesia>
 83. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634?>
 84. Optimist And Pessimist Moon-Sighting: The Study Of Islamic Calendar Determination In Indonesia - Semantic Scholar, diakses Mei 10, 2025, <https://pdfs.semanticscholar.org/ae7d/bb7c8915e77b88ec96f71f00e8d2490146ae.pdf>
 85. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/shw1427.html>
 86. Assessment and review of modern lunar crescent visibility criterion ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/377573831_Assessment_and_review_of_modern_lunar_crescent_visibility_criterion
 87. arxiv.org, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634>
 88. View of A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, <https://ojie.um.edu.my/index.php/MJS/article/view/44110/18192>
 89. falakmu.id, diakses Mei 10, 2025, https://falakmu.id/hilal/yallop_1997.pdf
 90. astronomycenter.net, diakses Mei 10, 2025, https://astronomycenter.net/pdf/yallop_1997.pdf
 91. Crescent Moon Visibility A New Criterion Using Deep-Learned Artificial Neural Network, diakses Mei 10, 2025, <https://ru.scribd.com/document/772255379/Crescent-Moon-Visibility-A-New-Criterion-Using-Deep-Learned-Artificial-Neural-Network>
 92. GitHub - crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility: Code is ..., diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility>
 93. webspace.science.uu.nl, diakses Mei 10, 2025, https://webspace.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam_lunvis_method.htm
 94. Introduction - MoonSighting Pakistan, diakses Mei 10, 2025, <https://pakmoonsighting.pk/Introduction.aspx>
 95. 1 ACCURATE HIJRI CALCULATOR 2.2 SEBAGAI PIRANTI HISAB PENENTUAN AWAL BULAN HIJRIAH BERDASARKAN KRITERIA VISIBILITAS HILAL NASION - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/157925->

[ID-accurate-hijri-calculator-22-sebagai-pir.pdf](#)

96. (PDF) OBSERVASI HILĀL DI INDONESIA DAN SIGNIFIKANSINYA ..., diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/305286226_OBSERVASI_HILAL_DI_INDONESIA_DAN_SIGNIFIKANSINYA_DALAM_PEMBENTUKAN_KRITERIA_VISIBILITAS_HILAL
97. Prosiding Pertemuan Ilmiah HFI-Jateng2011 - Fisika UNSOED | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/doc/100488807/Prosiding-Pertemuan-Ilmiah-HFI-Jateng2011-Fisika-UNSOED>
98. diakses Januari 1, 1970,
<https://www.astro.ru.nl/~ELanting/zelf/MoonCalc/moon cres.htm>
99. diakses Januari 1, 1970,
https://www.moonsighting.com/visibilitymaps/1444shw_map.html
100. diakses Januari 1, 1970,
https://www.moonsighting.com/visibilitymaps/1445zhj_map.html
101. نتائج رصد هلال شوال لعام 1444 هـ - مركز الفلك الدولي, diakses Mei 10, 2025,
<https://astronomycenter.net/icop/shw44.html>
102. diakses Januari 1, 1970,
<https://web space.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam lunvis yallop odeh.html>
103. Re-evaluation of Hilaal Visibility in Indonesia Thomas Djamaluddin Center for Application of Space Science National Institute of, diakses Mei 10, 2025,
https://astronomycenter.net/pdf/djamaluddin_2001_in.pdf
104. Muhammadiyah Announces Dates for Ramadan, Shawwal, and Dhul-Hijjah 1445 AH, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/muhammadiyah-announces-dates-for-ramadan-shawwal-and-dhul-hijjah-1445-ah/>
105. The Triple Helix Theory as a Solution for the Unification of the Hijri Calendar in Indonesia - Jurnal Unisai, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.ejournal.unisai.ac.id/index.php/jiaf/article/download/871/748>
106. Visibility of Shawwal Crescent (1427 AH) - International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/shw27.html>
107. Does Height Above Sea Level Affect On Rise & Set? | PDF | Sunset - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/document/6753982/Does-Height-Above-Sea-Level-Affect-on-Rise-Set>
108. The Use of Technology to Live Webcast the Crescent Moon Observations, diakses Mei 10, 2025,
https://www.moonsighting.org.uk/docs/LiveWebcast_byQamarUddin_2010.pdf
109. Planets and their moons: JPL ephemeris files — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/planets.html>
110. Formulas to determine the illuminated phase and orientation of the Moon, diakses Mei 10, 2025,
<https://astronomy.stackexchange.com/questions/1709/formulas-to-determine-the-illuminated-phase-and-orientation-of-the-moon>
111. Celestial Mechanics Solutions where the Future is a Perfect Reflection of the

- Past - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/2112.11922>
112. Determining and plotting the altitude/azimut of a celestial object - Astropy Docs, diakses Mei 10, 2025, https://docs.astropy.org/en/latest/coordinates/example_gallery_plot_obs_planning.html
113. Ephemerides - My Coding, diakses Mei 10, 2025, <https://mycoding.uk/a/ephemerides.html>
114. PyEphem home page - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/pyephem/>
115. Revitalizing Astronomical Azimut Determination: Integrating Modern Computing with Traditional Techniques, diakses Mei 10, 2025, https://re.public.polimi.it/bitstream/11311/1287276/1/sensors-25-01871_small.pdf
116. Examples — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/examples.html>
117. Compute Moon and Venus Phase Angles with astropy - GitHub, diakses Mei 10, 2025, https://github.com/egemenimre/satstuff/blob/master/notebooks/astropy/moon_venus_phase.ipynb
118. find_discrete is more reliable than find_risings/settings · Issue #998 · skyfielders/python ... - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/issues/998>
119. astronomy-engine - PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/astronomy-engine/>
120. Introduction to PyEphem Library - Ontosight, diakses Mei 10, 2025, <https://ontosight.ai/glossary/term/introduction-to-pyephem-library--67a165f06c3593987a56bd06>
121. Finding lat/lon during an eclipse · skyfielders python-skyfield · Discussion #801 - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/discussions/801>
122. Almanac Computation — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/almanac.html>
123. python-skyfield/CHANGELOG.rst at master - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/blob/master/CHANGELOG.rst>
124. Longitude of lunar nodes using Skyfield - python - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/45909580/longitude-of-lunar-nodes-using-skyfield>
125. Positions — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/positions.html>
126. diakses Januari 1, 1970, <https://github.com/crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility/blob/master/README.md>
127. Using Skyfield with AstroPy - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/astropy.html>
128. python-skyfield/skyfield/almanac.py at master - GitHub, diakses Mei 10, 2025,

- <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/blob/master/skyfield/almanac.py>
129. Better way to calculate apparent angular separation of two objects in Skyfield?, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/36111098/better-way-to-calculate-apparent-angular-separation-of-two-objects-in-skyfield>
 130. API Reference — Astronomical Positions — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/api-position.html>
 131. How to calculate the start and end time and position (Alt, Az) of a star transiting behind the moon? - Astronomy Stack Exchange, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/59986/how-to-calculate-the-start-and-end-time-and-position-alt-az-of-a-star-transit>
 132. Newest 'skyfield' Questions - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/tagged/skyfield>
 133. Revitalizing Astronomical Azimut Determination: Integrating Modern Computing with Traditional Techniques - MDPI, diakses Mei 10, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1871>
 134. Skyfield — documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/>
 135. Coordinates — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/coordinates.html>
 136. Method for apparent angular separation · Issue #83 - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/issues/83>
 137. API Reference — Planetary Ephemerides — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/api-ephemeris.html>
 138. msyazwanfaid/hilalpy: A package to analyse the data of Moon sighting for lunar crescent visibility criterion - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/msyazwanfaid/hilalpy>
 139. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, diakses Mei 10, 2025, https://ssd.jpl.nasa.gov/planets/eph_export.html
 140. Map of Hilal Visibility on Early Syawal 1438H/2017M (Odeh) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Hilal-Visibility-on-Early-Syawal-1438H-2017M-Odeh_fig1_323181789
 141. (PDF) Toward a globally lunar calendar: a machine learning-driven approach for crescent moon visibility prediction - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/383059396_Toward_a_globally_lunar_calendar_a_machine_learning-driven_approach_for_crescent_moon_visibility_prediction
 142. Crescent Moon Visibility: A New Criterion using Deep learned Artificial Neural-Network, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/380233159_Crescent_Moon_Visibility_A_New_Criterion_using_Deep_learned_Artificial_Neural-Network
 143. (PDF) When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/390247405_When_Astronomy_Meet

[s Al Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco](#)

144. A Comprehensive Review on Lithium-Ion Battery Lifetime Prediction and Aging Mechanism Analysis - MDPI, diakses Mei 10, 2025, <https://www.mdpi.com/2313-0105/11/4/127>
145. Artificial intelligence in stroke risk assessment and management via retinal imaging, diakses Mei 10, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/computational-neuroscience/articles/10.3389/fncom.2025.1490603/full>
146. Maklumat Tentang Penetapan Hasil Hisab Ramadan, Syawal dan Zulhijah 1443 H, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/02/maklumat-tentang-penetapan-hasil-hisab-ramadan-syawal-dan-zulhijah-1443-h/>
147. Maklumat Pimpinan Pusat Muhammadiyah Tentang Penetapan Hasil Hisab Ramadan, Syawal, dan Zulhijah 1442 H, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2021/02/maklumat-pimpinan-pusat-muhammadiyah-tentang-penetapan-hasil-hisab-ramadan-syawal-dan-zulhijah-1442-h/>
148. diakses Januari 1, 1970, <https://en.muhammadiyah.or.id/muhammadiyah-announces-the-beginning-of-ramadan-eid-al-fitr-and-eid-al-adha-for-1443-h-2022-m/>
149. Moonsighting for Ramadan 1443, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.com/1443rmd.html>
150. Moonsighting for Shawwal 1444, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.com/1444shw.html>
151. journal.uin-alaududin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alaududin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/37768/17697>
152. نتائج رصد هلال شوال لعام 1443 هـ - مركز الفلك الدولي, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/shw43.html>
153. Moonsighting for Shawwal 1443, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.com/1443shw.html>
154. Eid al-Fitr 2025: Does Saudi Arabia report impossible moon sightings? | Middle East Eye, diakses Mei 10, 2025, <https://www.middleeasteye.net/news/eid-2025-does-saudi-arabia-report-impossible-moonsightings>
155. Astronomy Predictions: April 21 Marks Eid Al Fitr 2023 in Saudi Arabia, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moroccoworldnews.com/2023/04/34343/astronomy-predictions-april-21-marks-eid-al-fitr-2023-in-saudi-arabia/>
156. Saudi Arabia Sets Eid Al-Fitr to Fall on Wednesday - Kompas.id, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.id/baca/english/2024/04/08/en-arab-saudi-tetapkan-idul-fitri-jatuh-pada-hari-rabu>
157. diakses Januari 1, 1970, <https://www.aljazeera.com/news/2023/4/20/saudi-arabia-and-other-gulf-countries-to-celebrate-eid-al-fitr-on-friday>
158. diakses Januari 1, 1970, <https://www.arabnews.com/node/2290076/saudi-arabia>
159. Visibility of Shawwal Crescent 1444 AH - International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/shw44.html?l=en>

160. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/shw1444.html>
161. Eid al-Adha 2024 Simultaneously in Indonesia, Different from Arab ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.id/baca/english/2024/06/08/en-idul-adha-2024-serentak-di-indonesia-tetapi-beda-dengan-negara-negara-arab>
162. Some Indonesian Muslims Celebrate Eid al-Adha Sunday - Kompas.id, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.id/baca/english/2024/06/15/en-sebagian-umat-islam-indonesia-rayakan-idul-adha-minggu-esok>
163. Hilal Sighting in Saudi Arabia: A First Hand Report - by Salman Zafar Shaikh, diakses Mei 10, 2025, https://www.beautifulislam.com/eids/hilal_sighting_saudi.htm
164. Pedoman Hisab Muhammadiyah Tentang Awal Bulan Kamariah - Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/wp-content/uploads/2021/05/Kunjungan-dan-Sosialisasi-Ketarjih-2021-Rahmadi.pdf>
165. Maklumat Pimpinan Pusat Muhammadiyah Tentang Penetapan Hasil Hisab Ramadan, Syawal, dan Zulhijah 1446 H, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2025/02/maklumat-pimpinan-pusat-muhammadiyah-tentang-penetapan-hasil-hisab-ramadan-syawal-dan-zulhijah-1446-h/>
166. Ijtihad in Muhammadiyah: An Uşūl Al-Fiqh Study, diakses Mei 10, 2025, <https://www.webology.org/data-cms/articles/20220206042532pm19428.pdf>
167. KRITERIA VISIBILITAS HILAL DALAM PENETAPAN AWAL BULAN KAMARIAH DI INDONESIA - Jurnal IAIN Pontianak, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalainpontianak.or.id/index.php/khatulistiwa/article/download/214/172>
168. Territory, Hilāl, and Sovereignty: Revisiting Indonesia's Maṭla ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25278>
169. diakses Januari 1, 1970, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/2218/1364>
170. The Issue of Moon Sighting The month of Ramadan brings out the best of the Muslim community. People dedicate themselves to fasti, diakses Mei 10, 2025, <https://iokchess.com/wp-content/uploads/2025/01/The-Issue-of-Moon-Sighting.pdf>
171. Ramadan and Eid's Crescent Wars - New Lines Magazine, diakses Mei 10, 2025, <https://newlinesmag.com/argument/ramadan-and-eids-crescent-wars/>
172. Moon sighting controversy among Muslim clerics and its ..., diakses Mei 10, 2025, <https://kashmirreader.com/2023/03/26/moon-sighting-controversy-among-muslim-clerics-and-its-consequences/>
173. Why Do Eid Dates Vary? - Embrace Relief Foundation, diakses Mei 10, 2025, <https://www.embracerelief.org/why-do-eid-dates-vary/>
174. media.neliti.com, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/584067-the-global-islamic-calendar-according-to-4a7f4e5b.pdf>
175. 63 PROBLEM AND SOLUTIONS FOR ACCEPTING A SINGLE GLOBAL ISLAMIC CALENDAR Muhammad Hidayat* Universitas Muhammadiyah Sumatera Utar -

- unimel, diakses Mei 10, 2025,
<https://unimel.edu.my/journal/index.php/JLG/article/download/1890/1480>
176. (PDF) Unification of Global Hijrah Calendar In Indonesia: An Effort To Preserve The Maqasid Sunnah of The Prophet (SAW) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
[https://www.researchgate.net/publication/348300998 Unification of Global Hijrah Calendar In Indonesia An Effort To Preserve The Maqasid Sunnah of The Prophet SAW](https://www.researchgate.net/publication/348300998_Unification_of_Global_Hijrah_Calendar_In_Indonesia_An_Effort_To_Preserve_The_Maqasid_Sunnah_of_The_Prophet_SAW)
177. (PDF) Renewing the Thoughts of the Hijri Calendar of Muhammadiyah, Nahdlatul Ulama and Persatuan Islam and Its Implications for Realization of National Hijri Calendar - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
[https://www.researchgate.net/publication/353682437 Renewing the Thoughts of the Hijri Calendar of Muhammadiyah Nahdlatul Ulama and Persatuan Islam and Its Implications for Realization of National Hijri Calendar](https://www.researchgate.net/publication/353682437_Renewing_the_Thoughts_of_the_Hijri_Calendar_of_Muhammadiyah_Nahdlatul_Ulama_and_Persatuan_Islam_and_Its_Implications_for_Realization_of_National_Hijri_Calendar)
178. The moon sighting paradox: Navigating the lunar calendar conundrum, diakses Mei 10, 2025, <https://www.alhakam.org/the-moon-sighting-paradox/>
179. Determination of Hijri Calendar in Islamic History and Its Criteria in ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jml.um.edu.my/index.php/JAT/article/view/45242>
180. diakses Januari 1, 1970,
[https://www.researchgate.net/publication/257604108 Visibilitas Hilal di Indonesia Studi Kritis terhadap Metode Hisab Rukyat dan Kriteria Penentuan Awal Bulan Kamariyah](https://www.researchgate.net/publication/257604108_Visibilitas_Hilal_di_Indonesia_Studi_Kritis_terhadap_Metode_Hisab_Rukyat_dan_Kriteria_Penentuan_Awal_Bulan_Kamariyah)
181. diakses Januari 1, 1970,
[https://www.researchgate.net/publication/332500877 HISAB WUDUDUL HILAL DALAM PERSPEKTIF FIKIH DAN ASTRONOMI ANALISIS METODOLOGI DAN AKURASI APLIKASINYA DALAM PENENTUAN AWAL BULAN KAMARIAH DI INDONESIA](https://www.researchgate.net/publication/332500877_HISAB_WUDUDUL_HILAL_DALAM_PERSPEKTIF_FIKIH_DAN_ASTRONOMI_ANALISIS_METODOLOGI_DAN_AKURASI_APLIKASINYA_DALAM_PENENTUAN_AWAL_BULAN_KAMARIAH_DI_INDONESIA)

BAB X

KESIMPULAN DAN PENGEMBANGAN LANJUT

Astronomi Islam komputasi telah mengalami perkembangan pesat, menandai perpaduan antara tradisi keilmuan Islam yang kaya dengan kemajuan teknologi modern. Bab ini bertujuan untuk merangkum pembelajaran utama dan tantangan yang dihadapi, mengeksplorasi potensi pengembangan aplikasi lebih lanjut, menyoroti peran sentral Python dalam masa depan Astronomi, serta memberikan rekomendasi untuk sumber belajar dan arah penelitian selanjutnya. Melalui analisis yang komprehensif, diharapkan bab ini dapat memberikan pandangan holistik mengenai kondisi terkini dan prospek masa depan astronomi Islam di era digital.

10.1 Ringkasan: Pembelajaran dan Tantangan dalam Astronomi Islam Komputasi

Perjalanan astronomi Islam komputasi diwarnai oleh berbagai kemajuan signifikan sekaligus tantangan yang memerlukan perhatian berkelanjutan. Refleksi atas pencapaian, identifikasi kendala, dan penarikan pembelajaran kunci menjadi esensial untuk memetakan langkah ke depan.

10.1.1 Refleksi atas Kemajuan dan Pencapaian Terkini

Evolusi astronomi Islam dari metode klasik menuju pendekatan komputasi modern menunjukkan peran krusial teknologi dalam meningkatkan presisi dan aksesibilitas informasi falak. Sejarah mencatat bagaimana peradaban Islam menjadi pelopor dalam astronomi, dengan tokoh-tokoh seperti Ibn Al-Shāṭir yang mengkritik teori geosentris Ptolemeus dan memetakan gerakan planet, meletakkan dasar bagi teori heliosentris.¹ Kini, metode komputasi melanjutkan tradisi inovasi tersebut, membawa Astronomi ke tingkat akurasi dan efisiensi yang belum pernah tercapai sebelumnya.

Pencapaian signifikan terlihat dalam pengembangan algoritma untuk hisab rukyat, penentuan waktu salat, dan arah kiblat yang lebih akurat dan otomatis. Penggunaan rumus trigonometri bola dengan bantuan alat hitung modern telah menjadi standar³, sementara kriteria visibilitas hilal terus mengalami penyempurnaan melalui kajian data observasi global.⁴ Sebagai contoh, kriteria MABIMS (Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura) telah mengalami evolusi dari kriteria lama (tinggi hilal 2°, elongasi 3°, dan umur bulan 8 jam) ke kriteria baru atau Neo-MABIMS (tinggi hilal 3° dan elongasi 6,4°) yang diadopsi oleh negara-negara anggota,

termasuk Indonesia melalui Kementerian Agama, sebagai upaya meningkatkan akurasi saintifik dan unifikasi kalender Hijriah.⁵

Kolaborasi antara ahli falak, astronom, dan ilmuwan komputer juga semakin meningkat, menghasilkan penelitian dan aplikasi yang relevan. Jurnal-jurnal ilmiah seperti *Kulminasi: Journal of Falak and Sharia*³, *Azimuth: Journal of Islamic Astronomy*²¹, *AstroIslamica: Journal of Islamic Astronomy*⁶, *Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy*²³, dan *Al-Hisab: Journal of Islamic Astronomy*²⁵ menjadi wadah penting untuk diseminasi hasil-hasil penelitian ini, mencakup topik-topik seperti penentuan arah kiblat, waktu salat, kalender Islam, dan gerhana.

Kemajuan komputasi tidak hanya meningkatkan akurasi teknis, tetapi juga membuka potensi demokratisasi pengetahuan falak. Jika sebelumnya metode falak tradisional seringkali memerlukan keahlian khusus dan instrumen yang tidak mudah diakses, kini alat komputasi modern dan perangkat lunak, terutama yang bersifat sumber terbuka (*open source*), menyediakan antarmuka yang lebih ramah pengguna dan kalkulasi otomatis. Hal ini memungkinkan lebih banyak individu, mulai dari peneliti dan mahasiswa hingga masyarakat umum, untuk mengakses, memahami, dan bahkan memverifikasi perhitungan falak. Konsekuensinya adalah penyebaran pengetahuan yang lebih luas dan partisipasi yang lebih besar dalam diskusi ilmiah terkait Astronomi.

Lebih lanjut, terdapat pergeseran signifikan dari ketergantungan pada observasi fisik semata, seperti dalam rukyatul hilal *bil fi'li* (melihat hilal secara langsung), ke penggunaan model prediktif berbasis komputasi yang divalidasi dengan data observasi jangka panjang. Metode rukyat tradisional memiliki keterbatasan terkait kondisi atmosfer, faktor geografis, dan potensi subjektivitas pengamat.²⁷ Sebaliknya, metode hisab komputasi menawarkan konsistensi dan kemampuan prediksi jangka panjang.³⁰ Pengembangan berbagai kriteria visibilitas hilal, seperti kriteria Odeh, Yallop, dan MABIMS, merupakan upaya untuk menjembatani hisab dan rukyat melalui model matematis yang didasarkan pada data observasi global.⁴ Ini menunjukkan evolusi metodologis di mana komputasi tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu hitung, tetapi juga sebagai fondasi untuk membangun model prediksi yang lebih andal dan objektif.

10.1.2 Identifikasi Tantangan Utama (Teknis, Metodologis, dan Sosio-Religius)

Meskipun berbagai kemajuan telah dicapai, astronomi Islam komputasi masih dihadapkan pada serangkaian tantangan yang kompleks, baik dari aspek teknis, metodologis, maupun sosio-religius.

Tantangan Teknis

Salah satu tantangan teknis utama adalah kebutuhan akan data observasi hilal yang akurat, konsisten, dan terstandarisasi secara global. Data ini krusial untuk validasi dan penyempurnaan model komputasi.³⁴ Kualitas data dari berbagai sumber, termasuk observatorium meteorologi, terkadang masih rendah dan memerlukan peningkatan.³⁴ Faktor atmosferik seperti tutupan awan, kelembapan udara, kandungan aerosol, dan polusi cahaya juga menjadi kendala signifikan yang memengaruhi visibilitas hilal.²⁷ Meskipun model komputasi berusaha mengakomodasi faktor-faktor ini, variabilitasnya yang tinggi dan sifatnya yang lokal menyulitkan pemodelan yang sepenuhnya akurat.³⁷

Kebutuhan akan daya komputasi yang tinggi juga menjadi tantangan, terutama untuk pengembangan model astrometri global yang kompleks dan analisis data astronomi dalam volume besar (big data).³⁹ Ketergantungan pada teknologi dan perangkat lunak yang terus berkembang menuntut adanya upaya berkelanjutan dalam pengembangan dan pemeliharaan perangkat lunak falak yang andal, aman, dan selalu *up-to-date* dengan kemajuan saintifik terbaru.⁴⁰

Tantangan Metodologis

Dari sisi metodologis, perbedaan dalam kriteria penentuan awal bulan Kamariyah, khususnya Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah, masih menjadi isu sentral. Di Indonesia, misalnya, perbedaan antara kriteria Wujudul Hilal yang dianut oleh Muhammadiyah dan kriteria Imkanur Rukyat yang menjadi dasar kebijakan pemerintah (merujuk pada kriteria Neo-MABIMS) dan diikuti oleh Nahdlatul Ulama (NU), seringkali menyebabkan perbedaan dalam penetapan hari-hari besar Islam.⁶ Kriteria Wujudul Hilal mensyaratkan terpenuhinya tiga kondisi: telah terjadi ijtimak (konjungsi), ijtimak terjadi sebelum matahari terbenam, dan saat matahari terbenam bulan (piringan atasnya) masih di atas ufuk.⁸ Sementara itu, kriteria Imkanur Rukyat Neo-MABIMS yang baru menetapkan syarat tinggi hilal minimal 3 derajat dan elongasi minimal 6,4 derajat.⁵ Dinamika penetapan kriteria visibilitas ini menunjukkan bahwa prosesnya terus berlangsung. Kriteria MABIMS lama (2°, 3°, 8 jam) dianggap kurang saintifik dan menghasilkan perbedaan.⁴ Meskipun kriteria Neo-MABIMS telah diusulkan dan diadopsi, implementasinya masih menghadapi tantangan penerimaan dan konsistensi, seperti yang terlihat pada kasus penentuan awal Syawal 1443 H dan 1444 H di mana perbedaan masih terjadi.⁶ Hal ini menggarisbawahi bahwa aspek teknis (akurasi kriteria) dan aspek sosial-keagamaan (penerimaan oleh berbagai ormas Islam) perlu berjalan seiring. Penelitian berkelanjutan terhadap data rukyat global, seperti yang dikumpulkan oleh *Islamic Crescents' Observation Project* (ICOP) ³¹, dan evaluasi kuantitatif terhadap berbagai kriteria (Odeh, Yallop, dll.) menjadi sangat penting untuk penyempurnaan di masa depan.⁴

Interpretasi dalil-dalil syar'i, baik Al-Qur'an maupun Hadis, dalam konteks metode

komputasi dan data astronomi modern juga masih menjadi area diskusi yang intens.⁶ Upaya mencapai konsensus global mengenai kalender Islam terpadu menghadapi tantangan besar, mengingat keragaman praktik dan otoritas di berbagai negara Muslim.⁴⁴

Tantangan Sosio-Religius

Penerimaan metode hisab komputasi sebagai pengganti atau pelengkap rukyat masih bervariasi di kalangan umat Islam.⁶ Perbedaan dalam penentuan awal bulan Ramadhan, Syawal, dan Zulhijah membawa implikasi sosial yang signifikan, terkadang menimbulkan kebingungan dan perdebatan di tengah masyarakat.¹⁰ Selain itu, tingkat literasi sains dan astronomi di sebagian kalangan masyarakat yang mungkin masih terbatas dapat menjadi penghambat dalam penerimaan inovasi komputasi di bidang Astronomi.¹⁷³

10.1.3 Pembelajaran Kunci dari Implementasi Metode Komputasi dalam Astronomi

Implementasi metode komputasi dalam Astronomi telah memberikan sejumlah pembelajaran penting. Pertama, metode komputasi terbukti mampu memberikan presisi tinggi dalam perhitungan posisi benda-benda langit, suatu hal yang esensial untuk berbagai aplikasi Astronomi seperti penentuan waktu salat dan arah kiblat.¹⁵ Kedua, validasi hasil komputasi dengan data observasi empiris (rukya) sangat penting untuk membangun kepercayaan dan terus meningkatkan akurasi model yang digunakan.³⁴

Ketiga, pengembangan Astronomi komputasi yang komprehensif dan holistik memerlukan pendekatan interdisipliner yang melibatkan kolaborasi antara ahli syariah, astronom, matematikawan, dan pakar teknologi informasi.¹⁰ Keempat, edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat mengenai dasar ilmiah dan manfaat metode komputasi dalam Astronomi adalah krusial untuk mendorong penerimaan yang lebih luas dan apresiasi terhadap kemajuan ini.¹⁵

Implementasi komputasi dalam Astronomi sejatinya memainkan peran ganda. Di satu sisi, ia meningkatkan presisi teknis perhitungan astronomis yang menjadi dasar praktik keagamaan. Di sisi lain, ia membuka peluang baru untuk edukasi dan peningkatan pemahaman publik tentang astronomi Islam. Aplikasi falak komputasi, misalnya, dapat menyajikan data astronomi yang kompleks dalam format visual yang interaktif dan mudah dipahami. Ini membantu menjembatani kesenjangan antara pengetahuan para ahli dan pemahaman masyarakat awam. Dengan demikian, komputasi tidak hanya berfungsi sebagai alat presisi bagi para ahli, tetapi juga sebagai media edukasi dan dakwah sains bagi masyarakat luas.

Upaya unifikasi kalender Hijriah melalui metode komputasi merupakan sebuah tantangan multidimensi. Secara teknis, diperlukan kriteria visibilitas hilal yang disepakati secara global dan didukung oleh data empiris yang kuat.⁴ Dari aspek fiqh, perbedaan interpretasi terhadap dalil-dalil mengenai rukyat dan hisab masih menjadi sumber utama divergensi pandangan.⁶ Secara sosial, tradisi dan pandangan organisasi massa Islam besar memiliki pengaruh kuat terhadap praktik di masyarakat.⁸ Peran pemerintah sebagai fasilitator dan regulator, serta kerjasama regional seperti MABIMS, menunjukkan adanya dimensi politik dan kebijakan publik yang tidak dapat diabaikan.⁵ Oleh karena itu, solusi unifikasi memerlukan pendekatan komprehensif yang mampu mengatasi semua dimensi ini secara simultan dan harmonis.

Tabel 10.1: Rangkuman Pembelajaran Utama dan Tantangan Kritis dalam Astronomi Islam Komputasi

Aspek Pembelajaran/Tantangan	Deskripsi Pembelajaran/Pencapaian	Deskripsi Tantangan Kritis
Akurasi Perhitungan	Peningkatan presisi perhitungan waktu salat, arah kiblat, dan posisi benda langit menggunakan algoritma dan efemeris modern. ³	Keterbatasan data input (misalnya, data atmosferik <i>real-time</i>) yang dapat mempengaruhi akurasi akhir di lapangan. ²⁷
Validasi Model Visibilitas Hilal	Pengembangan beragam model visibilitas hilal (Odeh, Yallop, MABIMS) berdasarkan analisis data observasi global. ⁴	Heterogenitas dan kualitas data rukyat historis global yang menjadi dasar validasi model. ³⁴
Unifikasi Kalender Hijriah	Adopsi kriteria Neo-MABIMS oleh beberapa negara sebagai langkah menuju standarisasi regional. ⁵	Perbedaan metodologi fundamental (<i>Wujudul Hilal</i> vs. <i>Imkanur Rukyat</i>) dan interpretasi fiqh yang masih menjadi penghambat utama unifikasi. ⁴⁴
Literasi Sains & Falak	Potensi aplikasi komputasi sebagai media edukasi interaktif untuk meningkatkan	Tingkat literasi sains dan astronomi yang bervariasi di masyarakat dapat

	pemahaman publik. ¹⁷⁷	mempengaruhi penerimaan inovasi komputasi. ¹⁷³
Pengembangan Sumber Daya Manusia	Meningkatnya kolaborasi interdisipliner antara ahli falak, astronom, dan pakar IT. ⁴⁴	Kebutuhan akan pelatihan berkelanjutan bagi praktisi falak untuk mengadopsi dan mengembangkan teknologi komputasi baru. ⁴²
Ketersediaan dan Kualitas Data	Proyek seperti ICOP menyediakan database observasi hilal global yang berharga. ³²	Tantangan dalam standarisasi pengumpulan data, mengatasi bias, dan memastikan aksesibilitas data untuk riset. ³⁴
Pemodelan Faktor Atmosfer	Algoritma mulai memperhitungkan beberapa parameter atmosfer dasar. ²⁷	Kesulitan dalam memodelkan variabilitas kondisi atmosfer lokal (awan, polusi cahaya, dll.) secara akurat dan <i>real-time</i> . ²⁸
Interpretasi Fiqh dalam Era Digital	Diskursus aktif mengenai relevansi dalil-dalil klasik dalam konteks kemajuan sains dan teknologi komputasi. ⁶	Perlunya ijtihad kontemporer untuk menjawab isu-isu baru yang muncul dari penerapan AI dan <i>big data</i> dalam praktik keagamaan. ³

10.2 Potensi: Pengembangan Aplikasi Lebih Lanjut dalam Astronomi Islam Komputasi

Kemajuan dalam astronomi Islam komputasi membuka berbagai potensi untuk pengembangan aplikasi yang lebih canggih, interaktif, dan bermanfaat bagi umat Islam. Integrasi dengan teknologi terkini seperti Antarmuka Pemrograman Aplikasi (API), pengembangan aplikasi berbasis web dan seluler, serta personalisasi pengalaman pengguna menjadi kunci untuk merealisasikan potensi ini.

10.2.1 Integrasi API untuk Peningkatan Fungsionalitas Aplikasi Falak

Integrasi API dari berbagai penyedia layanan data eksternal dapat secara signifikan

meningkatkan fungsionalitas dan akurasi aplikasi falak. Salah satu contoh penting adalah pemanfaatan API data cuaca. Layanan seperti Ouranos API ¹⁸² dan WorldWeatherOnline Astronomy API ¹⁸³ dapat menyediakan informasi prakiraan cuaca lokal, termasuk tutupan awan, kelembapan, dan parameter atmosfer lainnya. Data ini sangat krusial untuk memprediksi kondisi observasi hilal atau fenomena astronomi lainnya, mengingat kondisi atmosfer sangat memengaruhi visibilitas objek langit.²⁷ Dengan informasi cuaca *real-time* atau prakiraan jangka pendek, aplikasi dapat memberikan rekomendasi waktu dan lokasi observasi yang lebih optimal.

Selanjutnya, integrasi dengan API data astronomi presisi tinggi dari lembaga resmi seperti *US Naval Observatory* (USNO) ¹⁸⁴ atau proyek kolaboratif seperti *Islamic Crescents' Observation Project* (ICOP) ³² sangat vital. API ini dapat menyediakan efemeris Matahari dan Bulan yang akurat, data fase bulan, waktu konjungsi (ijtimak), dan parameter astronomis lainnya yang menjadi dasar perhitungan falak. Penggunaan data dari sumber otoritatif ini meningkatkan keandalan dan akurasi aplikasi.

Penggunaan API geolokasi, seperti Google Geolocation API ¹⁸⁷ atau W3C Geolocation API yang didukung peramban web modern ¹⁸⁸, memungkinkan aplikasi untuk secara otomatis mendeteksi lokasi pengguna. Informasi lokasi yang akurat ini sangat penting untuk perhitungan waktu salat dan arah kiblat yang presisi, karena kedua parameter ibadah ini sangat bergantung pada koordinat geografis pengamat.

Selain memanfaatkan API yang sudah ada, terdapat potensi besar untuk pengembangan API khusus Astronomi. API semacam ini dapat menyediakan data falak standar (misalnya, hasil hisab kriteria tertentu) atau layanan komputasi spesifik (misalnya, kalkulasi visibilitas hilal berdasarkan model tertentu) yang dapat diakses dan digunakan oleh pengembang aplikasi falak lainnya. Keberadaan API semacam ini dapat mendorong standardisasi data dan metode perhitungan, serta mengakselerasi inovasi di seluruh ekosistem aplikasi falak. Jika banyak aplikasi mengadopsi API yang sama untuk data dasar seperti efemeris, maka akan ada potensi keseragaman dalam hasil perhitungan fundamental, memungkinkan pengembang untuk lebih fokus pada inovasi fitur unik daripada membangun ulang kalkulasi dasar dari awal. Meskipun demikian, perlu dipertimbangkan pula potensi ketergantungan pada penyedia API dan isu interoperabilitas jika API yang ada memiliki format atau protokol yang berbeda.

10.2.2 Pengembangan Aplikasi Berbasis Web dan Seluler yang Interaktif dan Informatif

Pengembangan aplikasi falak berbasis web dan seluler yang interaktif dan informatif

memegang peranan penting dalam mendekatkan Astronomi kepada masyarakat luas. Pemanfaatan *framework* web modern seperti Python Flask atau Django¹⁸⁹ memungkinkan pembangunan aplikasi falak berbasis web yang kaya fitur, interaktif, dan mudah diakses dari berbagai perangkat. Django, dengan arsitektur *Model-View-Template* (MVT) dan fitur bawaan yang lengkap, sangat cocok untuk aplikasi berskala besar dan kompleks. Sementara itu, Flask, sebagai *micro-framework*, menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi dan cocok untuk proyek yang lebih kecil, API, atau sebagai komponen dalam arsitektur *microservices*.

Aplikasi seluler, baik untuk platform Android maupun iOS, dapat menyediakan informasi falak secara praktis dan *on-the-go*. Fitur-fitur seperti jadwal salat otomatis berdasarkan lokasi, notifikasi pengingat waktu ibadah, kalender Hijriah interaktif dengan penandaan hari-hari penting, serta kompas kiblat yang dilengkapi teknologi *augmented reality* (AR) untuk visualisasi arah yang lebih intuitif, dapat sangat membantu pengguna dalam menjalankan ibadah sehari-hari.

Visualisasi data astronomi yang seringkali kompleks merupakan aspek krusial lainnya. Pustaka grafik seperti Matplotlib atau Cartopy, yang dapat diintegrasikan dalam aplikasi web atau seluler berbasis Python, memungkinkan penyajian data seperti peta visibilitas hilal global maupun lokal, atau simulasi pergerakan benda-benda langit dalam format yang menarik dan mudah dipahami.¹⁹³ Sebagai contoh, aplikasi dapat menampilkan peta visibilitas hilal berdasarkan kriteria Yallop atau Odeh, membantu pengguna memahami potensi terlihatnya hilal di lokasi mereka.³³

Selain fungsi praktis, aplikasi ini juga berpotensi besar sebagai sarana edukasi. Penyediaan konten edukatif mengenai prinsip-prinsip dasar Astronomi, sejarah perkembangannya, penjelasan mengenai berbagai metode hisab-rukyat, serta pembahasan isu-isu aktual terkait penentuan awal bulan, dapat disajikan melalui artikel, tutorial interaktif, dan simulasi visual dalam aplikasi. Dengan demikian, aplikasi falak tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu ibadah, tetapi juga sebagai jembatan yang menghubungkan kompleksitas sains astronomi Islam dengan kebutuhan praktis dan keingintahuan masyarakat Muslim, sekaligus meningkatkan literasi sains di kalangan umat.

10.2.3 Personalisasi dan Peningkatan Pengalaman Pengguna dalam Aplikasi Falak

Personalisasi menjadi kunci untuk meningkatkan relevansi dan keterlibatan pengguna dalam aplikasi falak. Dengan memanfaatkan data dan teknologi, pengalaman pengguna dapat disesuaikan secara individual, menjadikan aplikasi lebih dari sekadar alat, tetapi

sebagai pendamping ibadah dan pembelajaran yang personal. Implementasi fitur personalisasi dapat dimulai dengan deteksi lokasi pengguna secara otomatis melalui API geolokasi.¹⁸⁷ Informasi lokasi ini memungkinkan aplikasi menyediakan jadwal salat, arah kiblat, dan informasi hilal yang akurat dan relevan dengan posisi pengguna.

Lebih lanjut, aplikasi dapat menawarkan opsi personalisasi berdasarkan preferensi mazhab pengguna, terutama terkait dengan perbedaan dalam penentuan waktu-waktu salat tertentu atau kriteria visibilitas hilal yang dijadikan acuan. Tingkat pemahaman pengguna juga dapat menjadi dasar personalisasi konten, di mana aplikasi dapat menyajikan informasi yang disesuaikan untuk pemula atau pengguna dengan pengetahuan falak yang lebih mendalam.

Kecerdasan buatan (AI) memiliki potensi besar dalam meningkatkan personalisasi. Misalnya, AI dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi waktu observasi hilal terbaik berdasarkan analisis data cuaca *real-time* dan indeks kualitas langit yang diperoleh dari API eksternal.¹⁸² Model AI juga dapat mempelajari pola perilaku pengguna untuk menawarkan konten atau fitur yang paling relevan.

Dari sisi antarmuka pengguna (UI) dan pengalaman pengguna (UX), desain yang intuitif, menarik secara visual, dan mudah diakses oleh berbagai kalangan, termasuk pengguna dengan keterbatasan, sangatlah penting. Notifikasi *real-time* untuk peristiwa astronomi penting seperti kemunculan hilal, terjadinya gerhana, atau masuknya waktu-waktu salat krusial, akan sangat meningkatkan nilai aplikasi. Integrasi dengan kalender pribadi pengguna untuk sinkronisasi jadwal ibadah atau acara keagamaan, serta fitur berbagi informasi falak melalui media sosial, juga dapat memperkaya pengalaman pengguna.

Dengan memberikan pengalaman yang lebih personal dan relevan, aplikasi falak dapat mendorong keterlibatan pengguna yang lebih tinggi. Ketika informasi yang disajikan sesuai dengan kebutuhan dan konteks individual, pengguna akan lebih termotivasi untuk menggunakan aplikasi secara rutin dan berkelanjutan, menjadikannya bagian tak terpisahkan dari praktik keagamaan dan proses pembelajaran mereka.

10.3 Masa Depan: Peran Python dalam Kemajuan Astronomi

Python, dengan ekosistem pustaka ilmiahnya yang kaya, telah menjadi salah satu bahasa pemrograman dominan dalam komputasi ilmiah modern, termasuk dalam bidang astronomi. Perannya dalam kemajuan Astronomi di masa depan diperkirakan akan semakin sentral, terutama dalam kalkulasi presisi, pengembangan aplikasi, dan penerapan teknik analisis data tingkat lanjut.

Tabel 10.2: Contoh API dan Teknologi Web Potensial untuk Aplikasi Falak

Kategori API/Teknologi	Contoh Spesifik	Potensi Aplikasi dalam Astronomi	Referensi Pendukung
Data Astronomi	USNO API, ICOP Data/Layanan Web, Skyfield/Astropy (sebagai <i>backend</i> kalkulasi)	Penyediaan data efemeris Matahari & Bulan yang akurat, data fase bulan, waktu konjungsi, parameter orbit.	116
Data Cuaca & Atmosfer	Ouranos API, WorldWeatherOnline API	Prediksi kondisi atmosfer lokal (tutupan awan, visibilitas, <i>seeing index</i>) untuk perencanaan observasi hilal dan fenomena astronomi lainnya.	182
Geolokasi	Google Geolocation API, W3C Geolocation API (HTML5)	Penentuan lokasi pengguna secara otomatis untuk kalkulasi waktu salat, arah kiblat, dan parameter observasi lokal yang akurat.	187
Framework Web Backend	Python Django, Python Flask	Pengembangan portal web hisab interaktif, layanan API Falak kustom, manajemen data pengguna dan observasi.	189
Framework Web	React, Vue.js, Angular	Pembuatan antarmuka pengguna	

Frontend		(UI) yang dinamis, responsif, dan interaktif untuk aplikasi web Falak.	
Pustaka Visualisasi Data	Matplotlib, Seaborn, Plotly, Cartopy (untuk Python)	Visualisasi data astronomi kompleks seperti peta visibilitas hilal, grafik posisi benda langit, diagram fase bulan.	193
Database	PostgreSQL, MySQL, SQLite (untuk aplikasi seluler/desktop), MongoDB (untuk data tidak terstruktur)	Penyimpanan data pengguna, data observasi historis, data lokasi, konfigurasi aplikasi, dan cache data eksternal.	
Pengembangan Seluler	Swift (iOS), Kotlin/Java (Android), Flutter, React Native	Pembuatan aplikasi seluler lintas platform atau natif yang menyediakan fitur-fitur Falak <i>on-the-go</i> .	209
Machine Learning (ML)	Scikit-learn, TensorFlow, Keras, PyTorch	Pengembangan model prediksi visibilitas hilal, analisis data observasi besar, klasifikasi citra astronomi.	38

10.3.1 Keunggulan Python dan Ekosistemnya (Skyfield, Astropy) untuk Kalkulasi Falak

Python menawarkan sejumlah keunggulan yang menjadikannya pilihan menarik untuk aplikasi Astronomi. Sintaksnya yang relatif mudah dibaca dan dipelajari memungkinkan para astronom dan ahli falak, yang mungkin tidak memiliki latar belakang ilmu komputer

yang mendalam, untuk dapat mengembangkan dan menggunakan perangkat lunak komputasi. Komunitas pengguna dan pengembang Python yang besar dan aktif juga menyediakan dukungan yang luas serta ketersediaan beragam pustaka (*libraries*) yang siap pakai.²¹²

Dalam konteks astronomi dan Astronomi, dua pustaka Python yang sangat menonjol adalah Astropy dan Skyfield. **Astropy**²⁰⁸ adalah proyek komunitas yang bertujuan mengembangkan paket inti umum untuk astronomi dalam Python. Astropy menyediakan fungsionalitas fundamental seperti penanganan unit dan kuantitas fisik, manipulasi data astronomi (termasuk tabel dan deret waktu), konversi sistem koordinat langit, penanganan data dalam format standar astronomi seperti FITS (*Flexible Image Transport System*), serta integrasi yang erat dengan pustaka komputasi numerik populer seperti NumPy dan pustaka visualisasi seperti Matplotlib. Kemampuan Astropy dalam mengelola data astronomi yang kompleks dan beragam menjadikannya fondasi penting untuk aplikasi falak yang memerlukan analisis data observasi atau hasil simulasi.

Sementara itu, **Skyfield**¹²⁶ dirancang khusus untuk melakukan perhitungan posisi benda-benda langit (planet, Bulan, Matahari, dan satelit) dengan presisi sangat tinggi. Skyfield menggunakan data efemeris dari Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA, seperti seri DE421 atau DE440 yang lebih baru, untuk menghasilkan posisi astronomis yang akurat hingga sub-miliarkdetik.²²⁸ Pustaka ini juga menyediakan fungsi-fungsi untuk perhitungan waktu dalam berbagai skala waktu astronomis dan transformasi antar sistem koordinat. Kemampuan Skyfield dalam menyediakan data posisi fundamental dengan akurasi tinggi sangat esensial untuk perhitungan dasar dalam Astronomi, seperti waktu salat, arah kiblat, dan prediksi awal bulan Kamariah. Dibandingkan dengan pustaka sebelumnya seperti PyEphem, Skyfield menawarkan desain yang lebih modern, API yang lebih intuitif, dan akurasi yang lebih tinggi, menjadikannya pilihan yang lebih disarankan untuk proyek-proyek baru.²³⁰

Kemudahan penggunaan Python, ditambah dengan kekuatan dan spesialisasi pustaka seperti Astropy dan Skyfield, tidak hanya mempermudah pelaksanaan tugas-tugas falak tradisional secara komputasi tetapi juga mendorong penelitian yang bersifat lintas disiplin. Ahli falak yang menguasai Python dapat lebih mudah berkolaborasi dengan pakar dari bidang lain, seperti ilmuwan data atau ahli kecerdasan buatan, untuk mengintegrasikan teknik-teknik analisis data modern dan *machine learning* ke dalam kajian falak. Pustaka-pustaka ini menyediakan fondasi astronomi yang kuat, sementara pustaka Python lainnya (misalnya, Scikit-learn untuk *machine learning*, TensorFlow

atau Keras untuk *deep learning*, Plotly atau Bokeh untuk visualisasi interaktif) memungkinkan penerapan teknik-teknik canggih tersebut. Ini membuka pintu bagi pendekatan-pendekatan baru dalam memodelkan fenomena falak, menganalisis data observasi historis dalam skala besar, atau mengembangkan sistem pendukung keputusan yang lebih cerdas dan adaptif.

10.3.2 Aplikasi Python dalam Prediksi Hilal, Waktu Salat, dan Arah Kiblat

Python, dengan dukungan pustaka Skyfield dan Astropy, menawarkan kapabilitas yang luas untuk implementasi perhitungan inti dalam Astronomi, termasuk prediksi hilal, penentuan waktu salat, dan perhitungan arah kiblat.

Dalam **prediksi hilal**, Python dapat digunakan untuk mengimplementasikan berbagai algoritma kriteria visibilitas, seperti kriteria Yallop atau Odeh. Perhitungan parameter-parameter kunci seperti *Arc of Light* (ARCL/elongasi), *Arc of Vision* (ARCV/beda tinggi Matahari-Bulan), dan lebar sabit Bulan (W atau W') dapat dilakukan dengan presisi menggunakan data posisi Matahari dan Bulan yang disediakan oleh Skyfield.³¹ Misalnya, untuk kriteria Yallop, parameter ' q ' dihitung berdasarkan ARCV dan W' (lebar sabit toposentrik), di mana W' sendiri merupakan fungsi dari semi-diameter toposentrik Bulan (SD') dan ARCL.¹⁹⁴ Skyfield dapat menghitung posisi geometrik (tanpa refraksi) maupun apparent (dengan refraksi) Matahari dan Bulan, yang kemudian dapat digunakan untuk menurunkan parameter-parameter ini untuk lokasi dan waktu tertentu.²⁰⁷

Untuk **penentuan waktu salat**, fungsi-fungsi almanak dalam Skyfield seperti `almanac.find_risings()` (untuk Syuruq/terbit Matahari), `almanac.find_settings()` (untuk Maghrib/terbenam Matahari), dan `almanac.find_transits()` (untuk tengah hari/istiwa') sangat berguna.²⁴³ Waktu Subuh dan Isya, yang didefinisikan berdasarkan sudut depresi Matahari di bawah ufuk, juga dapat dihitung dengan menentukan kapan Matahari mencapai ketinggian tertentu di bawah horison. Skyfield memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan horison kustom, yang berguna untuk mengakomodasi berbagai konvensi penentuan waktu salat yang ada.

Dalam **perhitungan arah kiblat**, Python dapat dimanfaatkan untuk menerapkan rumus-rumus trigonometri bola. Dengan mengetahui koordinat geografis Kakbah (lintang dan bujur) dan koordinat lokasi pengguna (yang bisa didapatkan melalui API geolokasi), sudut arah kiblat dapat dihitung dengan presisi. Pustaka seperti NumPy dapat membantu dalam operasi vektor dan matriks yang mungkin diperlukan untuk transformasi koordinat atau perhitungan sudut secara efisien.

Perkembangan menarik lainnya adalah munculnya pustaka Python yang lebih spesifik untuk kebutuhan Astronomi. Sebagai contoh, **HilalPy**³¹ adalah pustaka yang dirancang sebagai alat analisis untuk kriteria visibilitas hilal, yang mengintegrasikan database laporan rukyat hilal. Pustaka ini dapat melakukan analisis statistik deskriptif, analisis tingkat kontradiksi kriteria terhadap data observasi, dan analisis regresi. Keberadaan pustaka spesifik semacam ini menandakan sebuah kemajuan penting: dari sekadar mengadopsi alat astronomi umum, komunitas falak mulai membangun perangkat lunak yang secara eksplisit disesuaikan dengan kebutuhan dan diskursus unik dalam Astronomi. Ini menunjukkan pendewasaan bidang komputasi falak, di mana ia tidak hanya mengonsumsi teknologi tetapi juga aktif mengembangkannya.

10.3.3 Prospek Pemanfaatan Teknik Lanjut: *Machine Learning* dan Analisis Data Besar

Selain aplikasi perhitungan astronomi klasik, Python juga membuka pintu bagi penerapan teknik-teknik komputasi tingkat lanjut seperti *machine learning* (ML) dan analisis data besar (*big data*) dalam Astronomi. Prospek ini sangat menjanjikan, terutama dalam upaya meningkatkan akurasi prediksi visibilitas hilal dan pemahaman fenomena atmosfer yang mempengaruhinya.

Salah satu aplikasi ML yang paling menonjol adalah dalam **prediksi visibilitas hilal**. Dengan menggunakan dataset observasi hilal historis yang besar, seperti yang dikumpulkan oleh ICOP atau proyek *citizen science* lainnya, model ML dapat dilatih untuk mengenali pola-pola kompleks yang mungkin tidak tertangkap oleh model analitik tradisional.³⁸ Sebagai contoh, proyek "Manazel" menggunakan algoritma Regresi Logistik yang dilatih dengan data observasi hilal selama 13 tahun di Maroko untuk menyempurnakan kriteria ODEH, dan berhasil mencapai akurasi prediksi sebesar 98.83%.³⁸ Studi lain juga telah mengeksplorasi penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi visibilitas hilal berdasarkan parameter lebar sabit dan *arc of vision*.¹¹⁵ Kemampuan ML untuk belajar dari data dalam jumlah besar dan mengidentifikasi hubungan non-linear yang rumit antar variabel memberikan harapan untuk model prediksi hilal yang lebih akurat dan adaptif terhadap kondisi lokal.

Analisis **data besar** dari sumber-sumber seperti survei langit otomatis atau data satelit cuaca juga memiliki potensi besar. Data ini dapat digunakan untuk membangun model atmosfer yang lebih detail dan dinamis. Informasi mengenai tutupan awan, kadar aerosol, kelembapan, dan parameter atmosfer lainnya secara *real-time* atau historis dapat diintegrasikan ke dalam model prediksi visibilitas hilal, sehingga meningkatkan akurasinya. Python, dengan pustaka seperti Pandas untuk manipulasi data dan Scikit-

learn untuk analisis, sangat cocok untuk menangani dan menganalisis dataset besar semacam ini.

Teknik **pemrosesan citra (*image processing*)** dan **visi komputer (*computer vision*)** yang diimplementasikan dalam Python (misalnya, menggunakan pustaka OpenCV atau Scikit-image) juga sangat relevan. Teknik ini dapat digunakan untuk menganalisis citra hilal yang diperoleh dari observasi menggunakan teleskop atau kamera CCD. Fitur-fitur seperti peningkatan kontras citra, pengurangan noise, deteksi tepi, dan bahkan klasifikasi otomatis bentuk hilal dapat membantu dalam objektivikasi laporan rukyat dan verifikasi klaim pengamatan.³ Penelitian telah menunjukkan bahwa teknik seperti *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) dan *Bilateral Filter* (BF) dapat meningkatkan kualitas citra hilal, sementara *Maximally Stable Extremal Regions* (MSER) dan *Circular Hough Transform* (CHT) dapat digunakan untuk deteksi sabit secara akurat.¹⁴⁶

Meskipun demikian, penerapan ML dalam Astronomi juga menghadapi tantangan. Kebutuhan akan dataset yang besar, bersih, dan representatif untuk melatih model ML adalah salah satu kendala utama.³⁹ Selain itu, beberapa model ML, khususnya *deep learning*, sering dianggap sebagai "kotak hitam" (*black box*) karena proses pengambilan keputusannya yang sulit diinterpretasikan.³⁹ Hal ini dapat menjadi masalah dalam konteks falak di mana keputusan seringkali memerlukan justifikasi syar'i yang jelas. Potensi bias dalam data pelatihan atau dalam desain algoritma juga perlu diwaspadai agar tidak menghasilkan prediksi yang diskriminatif atau tidak adil.

Namun demikian, kemampuan *machine learning* dan AI untuk mengenali pola-pola kompleks dari data historis yang masif berpotensi mendobrak batas-batas akurasi prediksi visibilitas hilal saat ini, melampaui kemampuan model analitik tradisional yang seringkali bergantung pada sejumlah parameter astronomi dan asumsi atmosfer yang disederhanakan. Seiring dengan semakin banyaknya data observasi hilal yang terkumpul dan terdigitalisasi, serta berkembangnya teknik ML yang lebih transparan dan dapat dijelaskan (*Explainable AI*), peran AI dalam Astronomi diprediksi akan terus meningkat.

10.3.4 Praktik Terbaik dalam Pengembangan Perangkat Lunak Falak Berbasis Python

Untuk memastikan bahwa perangkat lunak falak berbasis Python yang dikembangkan bersifat andal, dapat dipelihara, dan berkelanjutan, penerapan praktik-praktik terbaik dalam rekayasa perangkat lunak menjadi sangat krusial. Hal ini tidak hanya penting

untuk proyek-proyek individual tetapi juga untuk mendorong kolaborasi dan kemajuan kolektif dalam komunitas astronomi Islam komputasi.

Desain Modular dan Kode yang Bersih: Mengadopsi pendekatan desain modular, di mana aplikasi dipecah menjadi komponen-komponen yang lebih kecil, independen, dan memiliki tanggung jawab tunggal, akan sangat memudahkan pengembangan dan pemeliharaan.²⁷⁶ Setiap modul sebaiknya memiliki kohesi yang tinggi (fungsionalitas terkait dikelompokkan bersama) dan kopling yang rendah (ketergantungan minimal antar modul). Menulis kode yang bersih, mudah dibaca, dan mengikuti panduan gaya seperti PEP 8 untuk Python juga sangat penting.

Dokumentasi yang Baik: Dokumentasi yang komprehensif, baik dalam bentuk komentar dalam kode (*docstrings*) maupun manual pengguna eksternal, adalah kunci untuk memastikan bahwa perangkat lunak dapat dipahami, digunakan, dan dimodifikasi oleh orang lain, termasuk oleh pengembang itu sendiri di masa mendatang.²⁷⁶

Pengujian Unit (*Unit Testing*): Implementasi pengujian unit secara sistematis untuk setiap modul atau fungsi membantu memastikan bahwa setiap bagian kode bekerja sesuai harapan dan mengurangi risiko munculnya *bug* ketika ada perubahan atau penambahan fitur baru.²⁷⁶ Kerangka kerja pengujian seperti Pytest dapat digunakan untuk ini.

Sistem Kontrol Versi: Penggunaan sistem kontrol versi seperti Git, yang seringkali diintegrasikan dengan platform kolaborasi seperti GitHub, sangat esensial, terutama untuk proyek yang melibatkan banyak pengembang atau untuk melacak perubahan kode dari waktu ke waktu.³¹ Ini memfasilitasi kolaborasi, memungkinkan pemulihan ke versi sebelumnya jika terjadi kesalahan, dan membantu dalam manajemen rilis perangkat lunak.

Lisensi Open Source: Mempertimbangkan penggunaan lisensi *open source* (misalnya, MIT, BSD, GPL) dapat mendorong kolaborasi yang lebih luas, penggunaan kembali kode, dan transparansi dalam pengembangan perangkat lunak falak. Banyak pustaka astronomi populer seperti Astropy dan Skyfield juga menggunakan lisensi *open source*.

Validasi Berkelanjutan: Akurasi adalah aspek fundamental dalam aplikasi falak. Oleh karena itu, perlu ada proses validasi yang berkelanjutan terhadap algoritma yang digunakan dan data input (seperti efemeris atau parameter atmosfer). Perbandingan hasil perhitungan dengan data observasi terbaru atau dengan hasil dari perangkat lunak standar lainnya harus dilakukan secara periodik.

Mengadopsi praktik-praktik terbaik ini sangat krusial untuk keberlanjutan dan evolusi jangka panjang dari perangkat lunak falak berbasis Python. Perangkat lunak falak, seperti halnya perangkat lunak ilmiah lainnya, memerlukan pemeliharaan dan pembaruan yang berkelanjutan, misalnya untuk mengakomodasi pembaruan data efemeris, adaptasi terhadap perubahan kriteria visibilitas, atau perbaikan bug. Tanpa praktik pengembangan yang baik, perangkat lunak bisa menjadi sulit dipelihara, dimodifikasi, atau dikembangkan lebih lanjut oleh orang lain, yang pada gilirannya dapat menghambat kemajuan dan menyebabkan fragmentasi upaya dalam komunitas. Dengan menerapkan prinsip-prinsip rekayasa perangkat lunak yang solid, komunitas Astronomi dapat membangun fondasi kode yang lebih kuat, kolaboratif, dan mampu mendukung inovasi berkelanjutan di masa depan.

Tabel 10.3: Ikhtisar Pustaka Python (Skyfield, Astropy, dll.) dan Aplikasinya dalam Astronomi

Nama Pustaka	Deskripsi Singkat dan Fitur Utama	Contoh Aplikasi dalam Astronomi	Referensi Pendukung
Skyfield	Perhitungan posisi astronomi presisi tinggi (Matahari, Bulan, planet) menggunakan efemeris JPL; penanganan waktu; transformasi koordinat.	Perhitungan waktu salat (terbit, transit, terbenam Matahari), posisi hilal (ketinggian, azimut, elongasi), arah kiblat, waktu konjungsi.	126
Astropy	Alat inti untuk astronomi: unit & kuantitas fisik, konstanta, tabel data, koordinat astronomi, pembacaan file FITS, deret waktu.	Konversi antar sistem koordinat langit, analisis data observasi astronomi (misalnya dari teleskop), manipulasi data dalam format FITS.	208
NumPy	Pustaka fundamental untuk komputasi	Perhitungan matematis kompleks	212

	numerik dengan Python; dukungan untuk array dan matriks multidimensi yang efisien.	dalam algoritma falak, operasi vektor dan matriks untuk transformasi koordinat.	
SciPy	Pustaka untuk komputasi ilmiah dan teknis; berisi modul untuk optimasi, aljabar linear, integrasi, statistik, pemrosesan sinyal.	Optimasi parameter dalam model visibilitas hilal, analisis statistik data observasi, interpolasi data efemeris.	212
Matplotlib	Pustaka komprehensif untuk membuat visualisasi statis, animasi, dan interaktif dalam Python.	Plotting orbit benda langit, pembuatan peta visibilitas hilal, grafik perubahan waktu salat sepanjang tahun, visualisasi data observasi.	193
Pandas	Pustaka untuk manipulasi dan analisis data tabular berkinerja tinggi dan mudah digunakan.	Pengelolaan dan analisis data rukyat historis dalam format tabel, pembersihan dan pra-pemrosesan data untuk model ML.	218
Scikit-learn	Pustaka <i>machine learning</i> yang sederhana dan efisien untuk analisis data prediktif.	Pengembangan model ML untuk prediksi visibilitas hilal, klasifikasi kondisi atmosfer, deteksi anomali dalam data observasi.	165
TensorFlow/Keras	Platform <i>end-to-end open source</i> untuk	Implementasi model <i>deep learning</i> untuk	165

	<i>machine learning, khususnya deep learning.</i>	klasifikasi citra hilal, prediksi deret waktu parameter atmosfer.	
HilalPy	Pustaka Python khusus untuk analisis kriteria visibilitas hilal menggunakan database laporan rukyat terintegrasi.	Analisis komparatif kriteria visibilitas (Odeh, Yallop, MABIMS, dll.) terhadap data observasi ICOP, evaluasi statistik performa kriteria.	31
OpenCV/Scikit-image	Pustaka untuk visi komputer dan pemrosesan citra.	Analisis citra hasil observasi hilal, peningkatan kontras, deteksi sabit, pengukuran parameter citra.	146

10.4 Rekomendasi: Sumber Belajar Tambahan dan Arah Penelitian Selanjutnya

Untuk terus memajukan bidang astronomi Islam komputasi, akses terhadap sumber belajar yang berkualitas dan identifikasi arah penelitian yang prospektif menjadi sangat penting. Bagian ini menyajikan rekomendasi sumber-sumber tersebut.

10.4.1 Jurnal Ilmiah Bereputasi sebagai Referensi Utama (Nasional dan Internasional)

Rujukan utama bagi peneliti dan praktisi astronomi Islam komputasi adalah jurnal-jurnal ilmiah yang telah melalui proses *peer-review* dan memiliki reputasi baik. Jurnal-jurnal ini mempublikasikan penelitian terkini, metodologi baru, dan analisis kritis terhadap isu-isu relevan.

Di tingkat nasional (Indonesia), beberapa jurnal yang menjadi rujukan penting antara lain:

- **Kulminasi: Journal of Falak and Sharia**, diterbitkan oleh UIN Ar-Raniry, Banda Aceh, berfokus pada penelitian empiris di bidang falak (kiblat, waktu salat, kalender

Islam, gerhana) dan syariah, serta kaitannya dengan studi area lain seperti matematika dan fisika.³

- **Azimut: Journal of Islamic Astronomy**, diterbitkan oleh UIN Sunan Ampel Surabaya, memuat artikel tentang Astronomi dan ilmu-ilmu terkait, termasuk kajian kritis terhadap kriteria visibilitas hilal.⁴
- **Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy**, diterbitkan oleh UIN Walisongo Semarang bekerja sama dengan Asosiasi Dosen Falak Indonesia (ADFI), mencakup penelitian empiris dalam astronomi Islam dan pendekatannya dengan bidang studi lain seperti matematika, fisika, dan astrofisika.²³
- **Al-Hisab: Journal of Islamic Astronomy**, diterbitkan oleh Observatorium Astronomi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (OIF UMSU), mempublikasikan artikel penelitian ilmiah dalam astronomi Islam, hukum Islam, instrumentasi, dan observatorium.²⁵
- **ASTROISLAMICA: Journal of Islamic Astronomy**, diterbitkan oleh IAIN Lhokseumawe, menyajikan hasil penelitian dan kajian teoretis terkait astronomi Islam, termasuk rekonstruksi kriteria visibilitas hilal dan dampak implementasinya.⁶

Jurnal-jurnal nasional ini memainkan peran krusial dalam membahas isu-isu spesifik konteks Indonesia, seperti implementasi kriteria MABIMS, dinamika antara hisab dan rukyat di kalangan organisasi Islam, serta kebijakan pemerintah terkait penentuan awal bulan Kamariyah. Publikasi dalam Bahasa Indonesia juga mempermudah akses bagi peneliti dan praktisi lokal.

Di tingkat internasional, publikasi dari lembaga seperti **Islamic Crescents' Observation Project (ICOP)** yang dikelola oleh *International Astronomical Center* (IAC) menjadi sumber data observasi hilal global yang sangat penting dan sering dirujuk dalam penelitian visibilitas hilal.³¹ Selain itu, publikasi dari **HM Nautical Almanac Office (HMNAO)** Inggris juga menyediakan data astronomi dan prediksi yang relevan.²⁸⁸ Jurnal-jurnal astronomi umum seperti *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS) atau *Experimental Astronomy* juga terkadang memuat artikel tentang visibilitas hilal atau teknik komputasi yang relevan.⁷

10.4.2 Literatur Kunci: Buku Teks Astronomi Islam dan Komputasi Astronomi dengan Python

Pemahaman yang mendalam mengenai astronomi Islam komputasi memerlukan landasan dari literatur kunci, baik yang membahas aspek historis dan teoretis Astronomi maupun yang fokus pada penerapan metode komputasi modern.

Untuk **astronomi Islam klasik dan modern**, karya-karya dari sejarawan sains seperti David A. King, misalnya "*Astronomy in the Service of Islam*"²⁹² dan "*Islamic Astronomical Instruments*"²⁹⁴, memberikan wawasan mendalam mengenai bagaimana astronomi diterapkan untuk kebutuhan ritual Islam di masa lalu, termasuk regulasi kalender lunar, penentuan waktu salat, dan arah kiblat. Buku-buku ini mengkaji berbagai sumber primer dan menjelaskan baik prosedur astronomi rakyat maupun metode matematis yang lebih kompleks yang dikembangkan oleh para ilmuwan Muslim. Karya-karya Mohammad Ilyas, seperti "*Astronomy of Islamic Calendar*"²⁹⁶, juga penting dalam membahas aspek astronomis kalender Islam dan kriteria visibilitas hilal.⁴ Buku-buku seperti "*Introduction to Falak Syar'i: Islamic Astronomy for Beginners*" oleh Firdaus Yahya³⁰⁰ dapat menjadi pengantar yang baik bagi pemula.

Dalam bidang **komputasi astronomi menggunakan Python**, buku teks seperti "*Astronomical Python: An introduction to modern scientific programming*" oleh Imad Pasha²¹⁴ (terbit Mei 2024) diharapkan dapat menjadi sumber penting. Buku ini dirancang sebagai teks kuliah yang mengenalkan pemrograman Python dengan fokus eksplisit pada aplikasi astrofisika, mencakup dasar-dasar Python, pustaka standar yang digunakan dalam astronomi, hingga topik-topik tingkat lanjut seperti inferensi astronomis dan pengembangan perangkat lunak. Buku lain yang relevan adalah "*Numerical Python in Astronomy and Astrophysics: A Practical Guide to Astrophysical Problem Solving*".²¹⁴

Penting juga untuk mempelajari dasar-dasar pemrograman Python secara umum dan pustaka-pustaka ilmiah intinya seperti NumPy (untuk komputasi numerik), SciPy (untuk algoritma ilmiah), dan Matplotlib (untuk visualisasi data), karena pustaka-pustaka astronomi seperti Astropy dan Skyfield dibangun di atas fondasi ini.

Meskipun telah ada buku-buku yang membahas Astronomi tradisional dan buku-buku lain yang membahas penggunaan Python untuk astronomi secara umum, masih terasa adanya keterbatasan literatur yang secara spesifik dan komprehensif mengintegrasikan kedua domain ini. Buku teks atau panduan praktis yang secara mendalam membahas implementasi metode hisab rukyat menggunakan pustaka Python seperti Skyfield, atau analisis data hilal historis menggunakan Pandas dan Scikit-learn, akan sangat berharga. Pengembangan literatur semacam ini, yang menjembatani teori falak dengan praktik komputasi modern menggunakan Python, merupakan kebutuhan mendesak untuk mendukung pendidikan dan penelitian di bidang astronomi Islam komputasi.

10.4.3 Platform Pembelajaran Daring, Komunitas, dan Proyek Kolaboratif (ICOP, *Citizen Science*)

Selain jurnal dan buku teks, terdapat berbagai platform pembelajaran daring, komunitas, dan proyek kolaboratif yang dapat menjadi sumber belajar dan pengembangan diri yang sangat berharga dalam bidang astronomi Islam komputasi.

Platform Pembelajaran Daring: Berbagai kursus daring (MOOCs) menawarkan pembelajaran Python untuk sains dan analisis data, yang dapat menjadi dasar kuat. Contohnya termasuk kursus-kursus yang ditawarkan oleh platform seperti Coursera, edX, atau DataCamp.³⁰² Beberapa universitas juga menyediakan materi kursus daring yang relevan, seperti "Python DeCal" dari University of California, Berkeley, yang ditujukan untuk ilmuwan (khususnya astronom) ³⁰³, atau kursus dari Brown University yang mengenalkan *machine learning* dan *deep learning* dengan Python untuk aplikasi dalam fisika dan astronomi.³⁰⁴ Program studi seperti Master of Science dalam *Computational Life Sciences* di Arizona State University juga menawarkan mata kuliah terkait pemrograman komputasi, analisis statistik, dan bioinformatika yang mungkin memiliki irisan relevan.³⁰⁵ Kursus *Computational Machine Learning for Scientists and Engineers* dari University of Michigan juga dapat memberikan dasar yang kuat dalam penerapan ML.³⁰⁶

Komunitas Open Source: Bergabung dan berpartisipasi dalam komunitas *open source* seperti **Astropy** ²⁰⁸ dan **Skyfield** ¹²⁶ sangat dianjurkan. Komunitas ini tidak hanya menyediakan perangkat lunak yang canggih, tetapi juga forum diskusi, dokumentasi, tutorial, dan kesempatan untuk berkontribusi dalam pengembangan kode. Ini adalah cara yang sangat baik untuk belajar dari para ahli, mendapatkan bantuan ketika menghadapi masalah teknis, dan tetap *up-to-date* dengan perkembangan terbaru.

Proyek Kolaboratif Internasional: ***Islamic Crescents' Observation Project (ICOP)***, yang dikelola oleh *International Astronomical Center* (IAC), adalah contoh utama proyek kolaboratif global.³¹ ICOP mengumpulkan laporan observasi hilal dari seluruh dunia setiap bulan, menyediakan peta visibilitas hilal, dan mempublikasikan hasil analisisnya. Data dari ICOP menjadi sangat penting untuk penelitian visibilitas hilal dan validasi model komputasi. Berkontribusi dalam pengamatan dan pelaporan ke ICOP dapat menjadi pengalaman belajar yang berharga. Lembaga lain seperti **HM Nautical Almanac Office (HMNAO)** juga menyediakan data dan layanan astronomi yang berguna.²⁸⁸

Citizen Science (Sains Warga): Keterlibatan publik dalam pengumpulan data ilmiah,

atau *citizen science*, memiliki potensi besar dalam astronomi, termasuk observasi hilal.¹⁷³ Dengan panduan dan pelatihan yang tepat dari para ahli, masyarakat umum dapat berkontribusi dalam mengumpulkan data observasi hilal dari berbagai lokasi. Proyek *citizen science* tidak hanya membantu memperluas cakupan pengumpulan data, tetapi juga meningkatkan literasi sains dan keterlibatan masyarakat dalam penelitian ilmiah.

Proyek kolaboratif global seperti ICOP dan inisiatif *citizen science* dapat menjadi penggerak utama dalam pengumpulan data observasi skala besar. Data ini esensial untuk memvalidasi dan menyempurnakan model komputasi falak, terutama model yang berbasis *machine learning* yang memerlukan dataset yang besar dan beragam. Kombinasi upaya dari para ahli, pengamat amatir yang terlatih, dan masyarakat umum yang berpartisipasi dalam *citizen science* dapat menghasilkan dataset yang lebih kaya dan representatif, yang pada gilirannya akan meningkatkan kualitas dan keandalan model prediksi falak di masa depan.

10.4.4 Arah Penelitian Masa Depan yang Prospektif

Bidang astronomi Islam komputasi terus berkembang dan menawarkan banyak arah penelitian yang menarik dan relevan untuk masa depan. Beberapa area yang prospektif meliputi:

1. **Pengembangan Model Visibilitas Hilal yang Lebih Akurat:** Penelitian berkelanjutan diperlukan untuk mengembangkan model prediksi visibilitas hilal yang lebih presisi. Ini melibatkan integrasi data atmosferik *real-time* (misalnya, dari satelit cuaca atau jaringan sensor darat), parameter fisis lokal yang lebih detail (seperti topografi, polusi cahaya spesifik lokasi), dan pemahaman yang lebih baik tentang interaksi cahaya hilal dengan atmosfer bumi yang kompleks.²⁷ Model yang memperhitungkan variabilitas spasial dan temporal kondisi atmosfer secara lebih dinamis akan sangat berharga.
2. **Studi Komparatif Kuantitatif Kriteria Hisab-Rukyat:** Diperlukan studi komparatif kuantitatif yang lebih mendalam dan sistematis mengenai akurasi berbagai kriteria hisab-rukyaat yang ada (misalnya, Neo-MABIMS, Wujudul Hilal, kriteria Odeh, kriteria Yallop, dan lainnya). Studi ini harus menggunakan database observasi global yang ekstensif, terkurasi dengan baik (seperti data ICOP yang telah diverifikasi), dan mencakup berbagai kondisi geografis serta atmosferik.⁴ Analisis statistik yang robust terhadap tingkat keberhasilan dan kegagalan prediksi dari masing-masing kriteria akan memberikan dasar yang lebih kuat untuk pemilihan atau penyempurnaan kriteria di masa depan.

3. **Kajian Fiqh Kontemporer terkait AI dan Big Data:** Penerapan teknik *Artificial Intelligence* (AI) dan analisis *big data* dalam penentuan awal bulan Kamariyah memunculkan pertanyaan-pertanyaan fiqh baru. Diperlukan kajian mendalam mengenai bagaimana prinsip-prinsip *istinbath* hukum Islam dapat diterapkan pada metodologi baru ini, bagaimana status epistemologis dari prediksi berbasis AI, dan bagaimana implikasinya terhadap otoritas penetapan hukum dalam Islam.³
4. **Pengembangan Framework dan Standar Terbuka:** Untuk mendorong kolaborasi dan interoperabilitas, penelitian dapat diarahkan pada pengembangan *framework* atau standar terbuka untuk pertukaran data falak, format laporan observasi, dan protokol API. Ini akan memudahkan integrasi antara berbagai aplikasi dan sistem komputasi falak.
5. **Studi Dampak Sosial dan Psikologis Aplikasi Falak Digital:** Seiring dengan meningkatnya penggunaan aplikasi falak digital oleh masyarakat, penelitian mengenai dampak sosial dan psikologisnya terhadap praktik keagamaan individu dan komunitas menjadi relevan. Bagaimana aplikasi ini mengubah cara umat memahami dan menjalankan ibadah terkait waktu dan kalender? Apakah ada pergeseran dalam otoritas keagamaan atau dinamika sosial?
6. **Eksplorasi Teknologi Imersif untuk Edukasi Falak:** Pemanfaatan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) untuk edukasi dan simulasi fenomena astronomi Islam menawarkan potensi yang besar. Pengguna dapat merasakan pengalaman visualisasi posisi hilal, pergerakan Matahari untuk waktu salat, atau bahkan simulasi perjalanan haji berdasarkan kalender Hijriah secara lebih imersif dan interaktif.

Seiring dengan semakin meningkatnya penggunaan AI dalam prediksi falak, penelitian masa depan perlu secara serius membahas aspek etika AI. Model AI, khususnya *deep learning*, seringkali dianggap sebagai "kotak hitam" karena kompleksitas internalnya yang sulit dijelaskan secara intuitif.³⁹ Keputusan-keputusan yang memengaruhi ibadah, seperti penentuan awal puasa atau hari raya, memerlukan dasar yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan, baik secara ilmiah maupun syar'i. Jika model AI menghasilkan prediksi yang berbeda secara signifikan dari metode tradisional atau sulit untuk dijelaskan proses pengambilan keputusannya, hal ini dapat menimbulkan keraguan dan resistensi dari masyarakat atau otoritas keagamaan. Oleh karena itu, penelitian di masa depan harus mencakup pengembangan teknik AI yang lebih dapat dijelaskan (*Explainable AI* / XAI) yang disesuaikan untuk aplikasi falak. Selain itu, perumusan panduan etis yang komprehensif untuk penggunaan AI dalam konteks keagamaan, termasuk aspek transparansi algoritma, akuntabilitas keputusan, dan mitigasi bias, menjadi sebuah keniscayaan.

Tabel 10.4: Rekomendasi Sumber Belajar Lanjutan (Jurnal, Buku, Platform Daring, Komunitas)

Kategori Sumber	Contoh Spesifik	Fokus/Manfaat Utama	Referensi Pendukung
Jurnal Ilmiah Nasional	<i>Kulminasi, Azimut, Al-Hilal</i> (UIN Walisongo), <i>Al-Hisab</i> (UMSU), <i>ASTROISLAMICA</i>	Riset Astronomi dalam konteks Indonesia, implementasi kriteria MABIMS, isu-isu lokal.	6
Jurnal/Publikasi Internasional	Publikasi dari ICOP/IAC, <i>Journal of Islamic Astronomy</i> (jika ada yang relevan), <i>MNRAS</i> , <i>Experimental Astronomy</i>	Penelitian global visibilitas hilal, pengembangan kriteria internasional, data observasi lintas negara.	7
Buku Teks Falak Klasik/Modern	Karya Al-Battani, Al-Biruni; Buku oleh David A. King (" <i>Astronomy in the Service of Islam</i> "); Mohammad Ilyas (" <i>Astronomy of Islamic Calendar</i> ")	Dasar-dasar teori Astronomi, sejarah perkembangan astronomi Islam, konsep kalender dan visibilitas hilal.	4
Buku Teks Python untuk Astronomi	" <i>Astronomical Python</i> " (Imad Pasha); " <i>Numerical Python in Astronomy and Astrophysics</i> " (Wolfram Schmidt)	Panduan praktis pemrograman Python untuk aplikasi astronomi, penggunaan pustaka Skyfield & Astropy.	214
Platform Kursus Daring	Coursera (kursus Python, Data Science), edX,	Pembelajaran terstruktur Python, analisis data, <i>machine</i>	302

	DataCamp; Python DeCal (Berkeley); Brown University (ML/DL in Physics & Astronomy)	<i>learning</i> , dan aplikasinya dalam sains.	
Komunitas/Proyek Open Source	Skyfield Community, Astropy Project, HilalPy	Dukungan komunitas, sumber kode terbuka, kesempatan berkontribusi, pustaka khusus falak.	31
Organisasi/Proyek Internasional	<i>Islamic Crescents' Observation Project</i> (ICOP), <i>HM Nautical Almanac Office</i> (HMNAO)	Penyediaan data observasi hilal global, standar dan prediksi astronomi, perangkat lunak (Accurate Times).	116
Citizen Science Platforms	Proyek-proyek yang melibatkan partisipasi publik dalam observasi astronomi (misalnya yang difasilitasi Unistellar)	Pengumpulan data observasi skala besar, peningkatan literasi sains publik.	173

Dengan merujuk pada sumber-sumber ini dan mengeksplorasi arah penelitian yang prospektif, diharapkan astronomi Islam komputasi akan terus berkembang, memberikan kontribusi yang lebih besar bagi ilmu pengetahuan, dan melayani kebutuhan umat Islam dengan lebih baik di masa depan. Kolaborasi, inovasi, dan keterbukaan terhadap kemajuan teknologi, dengan tetap berpegang pada prinsip-prinsip ilmiah dan syar'i, akan menjadi kunci keberhasilan.

Karya yang dikutip

1. ILMU ASTRONOMI DI DUNIA ISLAM ABAD 11-15 M SKRIPSI Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Memperoleh Gelar Sarjana dalam Progra - Digilib UIN Sunan Ampel Surabaya, diakses Mei 10, 2025, http://digilib.uinsa.ac.id/27178/1/Erma%20Rochayati_A92214081.pdf
2. AL-MARSHAD: JURNAL ASTRONOMI ISLAM DAN ILMU-ILMU BERKAITAN Benang Merah Penemu Teori Heliosentris, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/1939/1996>
3. KULMINASI: Journal of Falak and Sharia - Scilit, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scilit.com/sources/469236>
4. PENENTUAN BATAS MINIMUM PARAMETER VISIBILITAS HILAL SAAT SUMMER SOLSTICE DAN WINTER SOLSTICE Imas Musfiroh Himpunan Astronomi Am, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/6435/5311>
5. Rekonstruksi Kriteria Visibilitas Hilal MABIMS dari 2, 3, 8 Menuju 3, 6, 4 - IBTimes.ID, diakses Mei 10, 2025, <https://ibtimes.id/visibilitas-hilal-mabims/>
6. ASTROISLAMICA Rekontruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/3642/1454/16041>
7. (PDF) Implementasi Kriteria Visibilitas Neo-MABIMS dalam Penentuan Awal Bulan Hijriah, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/381395055_Implementasi_Kriteria_Visibilitas_Neo-MABIMS_dalam_Penentuan_Awal_Bulan_Hijriah
8. Ini Penjelasan Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - Media Indonesia, diakses Mei 10, 2025, <https://mediaindonesia.com/humaniora/747679/ini-penjelasan-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah>
9. (PDF) The implementation of new minister of religion of Brunei ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/372056493_The_implementation_of_new_minister_of_religion_of_Brunei_Indonesia_Malaysia_and_Singapore_criteria_towards_the_Hijri_calendar_unification
10. Determination of Hijri Calendar in Islamic History and Its Criteria in Southeast Asia, diakses Mei 10, 2025, <https://jml.um.edu.my/index.php/JAT/article/download/45242/17123>
11. Indonesia Applies New Criteria for Determining the Hijri Month - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/117816/indonesia-applies-new-criteria-for-determining-the-hijri-month>
12. ELFALAKY: Jurnal Astronomi STUDI KOMPARASI KRITERIA AWAL BULAN KAMARIAH KALENDER FAZILET DAN KRITERIA MABIMS Irfan Astronomi - Rumah Jurnal UIN Alauddin Makassar, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/36469/17699>

13. Istimbah - Jurnal of Islamic Law/Jurnal Hukum Islam - ISSN 1829-6505 vol. 18, No. 1. p. 1-264 - Neliti, diakses Mei 10, 2025,
<https://media.neliti.com/media/publications/418702-none-3469403c.pdf>
14. Respons atas Periset BRIN & Anggota THR Kemenag RI tentang Kriteria MABIMS 3-6.4 dan KHGT - OIF UMSU, diakses Mei 10, 2025,
<https://oif.umsu.ac.id/2025/04/respons-atas-periset-brin-anggota-thr-kemenag-ri-tentang-kriteria-mabims-3-6-4-dan-khgt/>
15. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining ... - BRIN, diakses Mei 10, 2025, <https://www.brin.go.id/en/news/122413/menentukan-awal-bulan-hijriah-kombinasi-ilmu-astronomi-dan-rukyat-dalam-penetapan-hilal>
16. Ministry Of Religion: Hilal Awal Ramadan Under New Criteria MABIMS, Possibility Can't Be Observed - VOI, diakses Mei 10, 2025,
<https://voi.id/en/news/364201>
17. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining Astronomy and Rukyat in Hilal Determination - BRIN, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukyat-in-hilal-determination>
18. Eid al-Adha 2024 Simultaneously in Indonesia, Different from Arab ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.id/baca/english/2024/06/08/en-idul-adha-2024-serentak-di-indonesia-tetapi-beda-dengan-negara-negara-arab>
19. KULMINASI: Journal of Falak and Sharia - UIN Ar-Raniry, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.ar-raniry.ac.id/index.php/kulminasi>
20. About the Journal | KULMINASI: Journal of Falak and Sharia - UIN Ar-Raniry, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.ar-raniry.ac.id/kulminasi/about>
21. About the Journal | Azimut: Journal of Islamic Astronomy - Jurnal Online Fakultas Syariah dan Hukum, UIN Sunan Ampel, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/about>
22. Azimut: Journal of Islamic Astronomy - Jurnal Online Fakultas Syariah dan Hukum, UIN Sunan Ampel, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut>
23. About the Journal | Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/about>
24. Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal>
25. Al-Hisab: Journal of Islamic Astronomy (JAH) - Neliti, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.neliti.com/journals/al-hisab-journal-of-islamic-astronomy-ac09cb7c0b8d>
26. Al-Hisab: Journal of Islamic Astronomy - Jurnal UMSU, diakses Mei 10, 2025,
<https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/alhisab>
27. (PDF) Astronomy at the service of the Islamic society - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/232003136_Astronomy_at_the_servi

- [ce of the Islamic society](#)
28. Variasi Lokal Pelaksanaan Rukyatul Hilal Dalam Penentuan Awal ..., diakses Mei 10, 2025, <https://ejournal.uinsaizu.ac.id/index.php/jpa/article/download/11204/3916/34564>
 29. jurnal.umsu.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/download/1526/1571>
 30. Rukyatul Hilal: Is It Still Necessary at the Beginning and End of Ramadan?, diakses Mei 10, 2025, <https://www.yarsi.ac.id/en/rukyatul-hilal-masihkah-diperlukan-di-awal-dan-akhir-ramadan>
 31. Design, Development and Analysis of Lunar Crescent Visibility Criterion With Python, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385007578_Design_Development_and_Analysis_of_Lunar_Crescent_Visibility_Criterion_With_Python
 32. (PDF) New Criterion for Lunar Crescent Visibility - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/225099773_New_Criterion_for_Lunar_Crescent_Visibility
 33. Introduction - MoonSighting Pakistan, diakses Mei 10, 2025, <https://pakmoonsighting.pk/Introduction.aspx>
 34. Scientific Analysis of Evaluating the Methodology of Confirming Hilal ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/390928269_Scientific_Analysis_of_Evaluating_the_Methodology_of_Confirming_Hilal_Observing_Reports_in_Determining_the_Beginning_of_the_Hijri_Month
 35. Evaluating the Development of the Crescent Visibility Criteria - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/377822644_Evaluating_the_Development_of_the_Crescent_Visibility_Criteria
 36. The Impact of Light Pollution on Islamic New Moon (hilal) Observation - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/319873512_The_Impact_of_Light_Pollution_on_Islamic_New_Moon_hilal_Observation
 37. A Simplified Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, https://luk.tsipil.ugm.ac.id/artikel/Ramadhan/ICOP/ozlem_2014.pdf
 38. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/html/2503.21634v1>
 39. AI Revolutionizing Astronomy: High School Breakthrough, Technical ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.forwardpathway.us/ai-revolutionizing-astronomy-high-school-breakthrough-technical-advances-and-future-data-challenges>
 40. Challenges Face Astroinformatics as It Sorts Through the Stars, diakses Mei 10, 2025, <https://www.hpcwire.com/2018/06/15/challenges-face-astroinformatics-as-it-sorts-through-the-stars/>

41. (PDF) Computational challenges of 21st century Global Astrometry, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/390404553_Computational_challenges_of_21st_century_Global_Astrometry
42. Islamic Astronomy and the Pursuit of Knowledge: Historical and Contemporary Insights - Research Corridor, diakses Mei 10, 2025, <https://researchcorridor.org/index.php/eaqsjwesp/article/download/351/334>
43. Analysing astronomy algorithms for graphics processing units and ..., diakses Mei 10, 2025, <https://academic.oup.com/mnras/article/408/3/1936/1076848>
44. www.ejournal.unisai.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://www.ejournal.unisai.ac.id/index.php/jiaf/article/download/871/748>
45. Maklumat Tentang Penetapan Hasil Hisab Ramadan, Syawal dan Zulhijah 1443 H, diakses Mei 10, 2025, <https://muhammadiyah.or.id/2022/02/maklumat-tentang-penetapan-hasil-hisab-ramadan-syawal-dan-zulhijah-1443-h/>
46. Fiqh al-Ihtilaf and Science: Discourse of Preliminary Differences of Lunation in Indonesia, diakses Mei 10, 2025, <https://ejournal.iainmadura.ac.id/index.php/karsa/article/download/2001/1248/>
47. pemahaman kriteria wujud al-hilal di pd persis cianjur, diakses Mei 10, 2025, https://eprints.walisongo.ac.id/127/1/Dindin_Tesis_Sinopsis.pdf
48. ISLAMIC LAW AND SCIENCE IN NU-MUHAMMADIYAH'S LUNAR CALENDAR DETERMINATION, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/23995/6634>
49. Kapan Puasa Ramadhan 1443 H, 2022 di Mulai - SIPDeskel Desa ..., diakses Mei 10, 2025, <https://ramaklandungan.desa.id/pages/articles/artikel.aspx?id=4441>
50. (PDF) FATWA ULAMA NU (NAHDLATUL ULAMA) DAN MUHAMMADIYAH JAWA TIMUR TENTANG HISAB RUKYAT - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/355816460_FATWA_ULAMA_NU_NA_HDLATUL_ULAMA_DAN_MUHAMMADIYAH_JAWA_TIMUR_TENTANG_HISAB_RUKYAT
51. Melihat Lebih Dalam Kriteria Hilal NU dan Muhammadiyah - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://islam.nu.or.id/syariah/melihat-lebih-dalam-kriteria-hilal-nu-dan-muhammadiyah-ILIVz>
52. Penetapan Awal Ramadan 2022, Ini Menurut NU-Muhammadiyah ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.detik.com/jabar/berita/d-6012305/penetapan-awal-ramadan-2022-ini-menurut-nu-muhammadiyah-jabar>
53. The Role of Public Law in Determining the Islamic Calendar in Indonesia, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25485/6703>
54. Pemerintah Tetapkan Idul Fitri 1444 H Jatuh pada Sabtu 22 April 2023 - NU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://www.nu.or.id/nasional/pemerintah-tetapkan-idul-fitri-1444-h-jatuh-pada-sabtu-22-april-2023-4LSvp>
55. ISLAMIC LAW AND SCIENCE IN NU-MUHAMMADIYAH'S LUNAR ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/23995>

56. A RELEVANCE BETWEEN MATLA' WILAYATUL HUKMI TOWARDS ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/5719>
57. Moderate Way Implementing Rukyat and Hisab to Determine A New Moon in Ramadan, diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/368882833 Moderate Way Implementing Rukyat and Hisab to Determine A New Moon in Ramadan](https://www.researchgate.net/publication/368882833_Moderate_Way_Implementing_Rukyat_and_Hisab_to_Determine_A_New_Moon_in_Ramadan)
58. ANALISIS BATAS MATHLA' GEOGRAFIS WILAYAH INDONESIA PADA KRITERIA NEO VISIBILITAS MABIMS TESIS Oleh: Novi Arisafitri NIM: 21020 - Repository - Walisongo, diakses Mei 10, 2025, [https://eprints.walisongo.ac.id/24683/1/Tesis_2102048004 Novi Arisafitri.pdf](https://eprints.walisongo.ac.id/24683/1/Tesis_2102048004_Novi_Arisafitri.pdf)
59. Hisab Hakiki Wujudul Hilal, Motode Muhammadiyah Tetapkan 1 Syawal - RRI, diakses Mei 10, 2025, <https://rri.co.id/nasional/1427616/hisab-hakiki-wujudul-hilal-motode-muhammadiyah-tetapkan-1-syawal>
60. (PDF) Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and ..., diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/378647552 Islamic Holy Days The Contention of Rukyatul Hillal and Hisab Hakiki Wujudul Hilal Disputes for Muslims in Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/378647552_Islamic_Holy_Days_The_Contention_of_Rukyatul_Hillal_and_Hisab_Hakiki_Wujudul_Hilal_Disputes_for_Muslims_in_Indonesia)
61. Telaah Argumen Metode Hisab dan Rukyat dalam Perspektif Tafsir Kontekstual - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/1166/239/3351>
62. Islamic Holy Days: The Contention of Rukyatul Hillal and Hisab Hakiki Wujudul Hilal Disputes for Muslims in Indonesia - Pharos Journal of Theology, diakses Mei 10, 2025, https://www.pharosjot.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_10_105_2_april_in_donesia.pdf
63. (PDF) Differences in Determining Ramadan and Shawwal: A ..., diakses Mei 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/390533238 Differences in Determining Ramadan and Shawwal A Discourse Analysis of The Book Nusus Al-Akhyar](https://www.researchgate.net/publication/390533238_Differences_in_Determining_Ramadan_and_Shawwal_A_Discourse_Analysis_of_The_Book_Nusus_Al-Akhyar)
64. journal.uin-alaudhin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alaudhin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/37768/17697>
65. Urgensi Fatwa dan Sidang Isbat dalam Penentuan Awal Bulan Kamariah di Indonesia - Jurnal Bimas Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/download/929/222>
66. ASTROISLAMICA Pandangan Tokoh Falak tentang Elongasi pada Penentuan Awal Syawal 1443 H dalam Kriteria Neo MABIMS di Indonesia - Rumah Jurnal IAIN Lhokseumawe, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/download/2762/1330/13061>
67. Determination of Hijri Calendar in Islamic History and Its Criteria in ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jml.um.edu.my/index.php/JAT/article/view/45242>

68. Rekontruksi Kriteria Visibilitas Hilal Serta Dampak Implementasi ..., diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/view/3642>
69. Determining the Onset of the Hijri Month: Combining Astronomy and Rukyat in Hilal Determination - BRIN, diakses Mei 10, 2025,
<https://brin.go.id/en/news/122413/determining-the-onset-of-the-hijri-month-combining-astronomy-and-rukya-in-hilal-determination>
70. (PDF) Unification of Global Hijrah Calendar In Indonesia: An Effort To Preserve The Maqasid Sunnah of The Prophet (SAW) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/348300998_Unification_of_Global_Hijrah_Calendar_In_Indonesia_An_Effort_To_Preserve_The_Maqasid_Sunnah_of_The_Prophet_SAW
71. BMKG: Kecil Potensi Hilal Terlihat 1 April 2022, Ini Awal Puasa ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.kompas.com/tren/read/2022/03/21/163000465/bmkg-kecil-potensi-hilal-terlihat-1-april-2022-ini-awal-puasa-menurut>
72. Moonsighting for Shawwal 1444, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.moonsighting.com/1444shw.html>
73. (PDF) Determination of Islamic Month Start by Moonsighting Australia (Case Study: 1 Dzulhijah 1441) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/366423052_Determination_of_Islamic_Month_Start_by_Moonsighting_Australia_Case_Study_1_Dzulhijah_1441
74. Moonsighting for Shawwal 1443, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.moonsighting.com/1443shw.html>
75. نتائج رصد هلال شوال لعام 1443 هـ - مركز الفلك الدولي, diakses Mei 10, 2025,
<https://astronomycenter.net/icop/shw43.html>
76. a relevance between matla' wilayatul hukmi towards the implementation result of - rukyatul hilal and wujudul hilal, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/5719/2901>
77. Ahead of the Isbat Session, the Hilal for the Beginning of Ramadhan 1445 AH is Difficult to Observe in Indonesia - Kompas.id, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.kompas.id/baca/english/2024/03/10/en-hilal-awal-ramadhan-14452024-sulit-diamati-di-indonesia>
78. diakses Januari 1, 1970,
https://www.researchgate.net/publication/332500877_HISAB_WUDUDUL_HILAL_DALAM_PERSPEKTIF_FIKIH_DAN_ASTRONOMI_ANALISIS_METODOLOGI_DAN_AKURASI_APLIKASINYA_DALAM_PENENTUAN_AWAL_BULAN_KAMARIAH_DI_INDONESIA
79. Moonsighting for Ramadan 1443, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.moonsighting.com/1443rmd.html>
80. Hilal Sighting in Saudi Arabia: A First Hand Report - by Salman Zafar Shaikh, diakses Mei 10, 2025,

- https://www.beautifulislam.com/eids/hilal_sighting_saudi.htm
81. diakses Januari 1, 1970, <https://en.muhammadiyah.or.id/muhammadiyah-announces-the-beginning-of-ramadan-eid-al-fitr-and-eid-al-adha-for-1443-h-2022-m/>
 82. diakses Januari 1, 1970, <https://www.nu.or.id/nasional/kemenag-tetapkan-1-ramadhan-1443-h-jatuh-pada-ahad-3-april-2022-मिल्ली>
 83. Visibility of Shawwal Crescent 1444 AH - International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/shw44.html?l=en>
 84. Muhammadiyah Announces Dates for Ramadan, Shawwal, and Dhul-Hijjah 1445 AH, diakses Mei 10, 2025, <https://en.muhammadiyah.or.id/muhammadiyah-announces-dates-for-ramadan-shawwal-and-dhul-hijjah-1445-ah/>
 85. 2213 PDFs | Review articles in RAMADAN FASTING - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, <https://www.researchgate.net/topic/Ramadan-Fasting/publications>
 86. diakses Januari 1, 1970, <https://www.moonsighting.org.uk/future-moon-sighting/ramadan-1443ah/>
 87. Why Do Eid Dates Vary? - Embrace Relief Foundation, diakses Mei 10, 2025, <https://www.embracerelief.org/why-do-eid-dates-vary/>
 88. Eid al-Fitr 2025: Does Saudi Arabia report impossible moon sightings? | Middle East Eye, diakses Mei 10, 2025, <https://www.middleeasteye.net/news/eid-2025-does-saudi-arabia-report-impossible-moonsightings>
 89. Moon sighting controversy among Muslim clerics and its ..., diakses Mei 10, 2025, <https://kashmirreader.com/2023/03/26/moon-sighting-controversy-among-muslim-clerics-and-its-consequences/>
 90. نتائج رصد هلال شوال لعام 1444 هـ - مركز الفلك الدولي, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/shw44.html>
 91. diakses Januari 1, 1970, https://www.moonsighting.com/visibilitymaps/1443rmd_map.html
 92. The Crescent Moon of the Month of Dhu al-Hijjah, 1445 A.H. - IMAM ..., diakses Mei 10, 2025, <https://imam-us.org/the-crescent-moon-of-the-month-of-dhu-al-hijjah-1445-a-h>
 93. Astronomy Predictions: April 21 Marks Eid Al Fitr 2023 in Saudi Arabia, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moroccoworldnews.com/2023/04/34343/astronomy-predictions-april-21-marks-eid-al-fitr-2023-in-saudi-arabia/>
 94. diakses Januari 1, 1970, https://www.moonsighting.com/visibilitymaps/1444shw_map.html
 95. diakses Januari 1, 1970, https://www.moonsighting.com/visibilitymaps/1445zhj_map.html
 96. diakses Januari 1, 1970, <https://www.aljazeera.com/news/2023/4/20/saudi-arabia-and-other-gulf-countries-to-celebrate-eid-al-fitr-on-friday>
 97. diakses Januari 1, 1970, <https://www.aljazeera.com/news/2023/4/20/eid-al-fitr-2023-when-is-it-and-how-is-it-determined>

98. diakses Januari 1, 1970,
<https://www.moroccoworldnews.com/2023/04/34343/astronomy-predictions-april-21-marks-eid-al-fitr-2023-in-saudi-arabia>
99. diakses Januari 1, 1970, <https://www.arabnews.com/node/2290076/saudi-arabia>
100. diakses Januari 1, 1970,
<https://www.astro.ru.nl/~ELanting/zelf/MoonCalc/mooncres.htm>
101. Moonrise, Moonset, and Moon Phase in Riyadh - Time and Date, diakses Mei 10, 2025, <https://www.timeanddate.com/moon/@108410>
102. Pedoman Hisab Muhammadiyah Tentang Awal Bulan Kamariah - Tarjih, diakses Mei 10, 2025, <https://tarjih.or.id/wp-content/uploads/2021/05/Kunjungan-dan-Sosialisasi-Ketarjih-2021-Rahmadi.pdf>
103. Maklumat Pimpinan Pusat Muhammadiyah Tentang Penetapan Hasil Hisab Ramadan, Syawal, dan Zulhijah 1446 H, diakses Mei 10, 2025,
<https://muhammadiyah.or.id/2025/02/maklumat-pimpinan-pusat-muhammadiyah-tentang-penetapan-hasil-hisab-ramadan-syawal-dan-zulhijah-1446-h/>
104. NEO-VISIBILITAS HILAL MABIMS DAN AWAL RAMADAN 1446 H (Prof Susiknan Azhari, Guru Besar Fak.Syariah dan... - UIN SUNAN KALIJAGA, diakses Mei 10, 2025, <https://uin-suka.ac.id/id/show/kolom/286/neo-visibilitas-hilal-mabims-dan-awal-ramadan-1446-h-prof-susiknan-azhari-guru-besar-faksyariah-dan-hukum-uin-sunan-kalijaga>
105. Territory, Hilāl, and Sovereignty: Revisiting Indonesia's Maṭla'under MABIMS' New Criteria - Rumah Jurnal UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025,
<https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25278/6722>
106. Implementation of the Mabims Criteria in Determining the Beginning of Islamic Month in Indonesia and Brunei Darussalam - Repository UIN Malang, diakses Mei 10, 2025, <http://repository.uin-malang.ac.id/8218/1/8218.pdf>
107. journal.uin-alauddin.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/30766/16113>
108. The Role of Modern Observation in Understanding the Beginning of the Hijri Month - Journal IAIN Manado, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.iain-manado.ac.id/index.php/JIS/article/download/1128/1038>
109. diakses Januari 1, 1970,
<https://journal.iainlhokseumawe.ac.id/index.php/ASTROISLAMICA/article/view/3642/1454>
110. Arti Hilal: Pengertian, Sejarah, dan Signifikansinya dalam Islam - Feeds Liputan6.com, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.liputan6.com/feeds/read/5922712/arti-hilal-pengertian-sejarah-dan-signifikansinya-dalam-islam>
111. Digital Hilal Observation: Evaluating the Authenticity of Hilal Testimonials in Indonesia Using the Digistar-6 Planetarium System, diakses Mei 10, 2025,
<https://ijor.co.uk/ijor/article/download/4128/2165/11668>

112. Confirmation methodology for a lunar crescent sighting report - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/371110782_Confirmation_methodology_for_a_lunar_crescent_sighting_report
113. auass.net, diakses Mei 10, 2025, <https://auass.net/wp-content/uploads/2024/03/1-s2.0-S0019103524000289-main.pdf>
114. Assessment and review of modern lunar crescent visibility criterion ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/377573831_Assessment_and_review_of_modern_lunar_crescent_visibility_criterion
115. Crescent Moon Visibility: A New Criterion using Deep learned Artificial Neural-Network, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/380233159_Crescent_Moon_Visibility_A_New_Criterion_using_Deep_learned_Artificial_Neural-Network
116. Islamic Crescents Observation Project (ICOP) - International ..., diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop.html?l=en>
117. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Universiti Malaya, diakses Mei 10, 2025, <https://jummecc.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
118. Hilal (Crescent Moon) for Rajab 1434 H Has Been Sighted - Alhabib's Blog, diakses Mei 10, 2025, <https://blog.al-habib.info/2013/05/hilal-crescent-moon-for-rajab-1434-h-has-been-sighted/>
119. مركز الفلك الدولي | International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/?&l=en>
120. Visibility of Shawwal Crescent (1427 AH) - International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/shw27.html>
121. مركز الفلك الدولي | International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/?&l=en>
122. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/rmt43.html>
123. Moon - Moon Sighting UK, diakses Mei 10, 2025, <https://www.moonsighting.org.uk/moon.html>
124. Visibility of Dhul Hijjah Crescent 1445 AH - International ..., diakses Mei 10, 2025, <https://astronomycenter.net/icop/hej45.html?l=en>
125. Essential Guide to Moonsighting Ramadan: Dates and Significance - Studio Arabiya, diakses Mei 10, 2025, <https://studioarabiya.com/moonsighting-ramadan/>
126. Planets and their moons: JPL ephemeris files — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/planets.html>
127. diakses Januari 1, 1970, https://astronomycenter.net/reports/search_by_month.html
128. Does Height Above Sea Level Affect On Rise & Set? | PDF | Sunset - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/document/6753982/Does-Height-Above-Sea-Level-Affect-on-Rise-Set>

129. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/shw1444.html>
130. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/gallery/show/search>
131. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/icop.html>
132. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/rmt1444.html>
133. diakses Januari 1, 1970,
[https://astronomycenter.net/icop/reports/search by month ar.html?l=ar&search month=09&search year=1445&search country=&search city=&search name=&search photo=&search result=1&search result all=0&search comments=&search key word=&op=1&B1=Search](https://astronomycenter.net/icop/reports/search%20by%20month%20ar.html?l=ar&search%20month=09&search%20year=1445&search%20country=&search%20city=&search%20name=&search%20photo=&search%20result=1&search%20result%20all=0&search%20comments=&search%20key%20word=&op=1&B1=Search)
134. diakses Januari 1, 1970,
[https://astronomycenter.net/icop/reports/search by month ar.html?l=ar&search month=10&search year=1445&search country=&search city=&search name=&search photo=&search result=1&search result all=0&search comments=&search key word=&op=1&B1=Search](https://astronomycenter.net/icop/reports/search%20by%20month%20ar.html?l=ar&search%20month=10&search%20year=1445&search%20country=&search%20city=&search%20name=&search%20photo=&search%20result=1&search%20result%20all=0&search%20comments=&search%20key%20word=&op=1&B1=Search)
135. diakses Januari 1, 1970, <https://astronomycenter.net/icop/shw1427.html>
136. (PDF) HilalPy: Software to analyse lunar sighting criteria - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
[https://www.researchgate.net/publication/375241803 Hilalpy Software to analyse lunar sighting criteria/download](https://www.researchgate.net/publication/375241803_Hilalpy_Software_to_analyse_lunar_sighting_criteria/download)
137. International Astronomical Center (IAC), diakses Mei 10, 2025,
<https://astronomycenter.net/?l=en>
138. SYARI AND ASTRONOMY INTEGRATION TO DETERMINE THE BEGINNING OF HIJRI CALENDAR: A Study of Elongation to Prove the Hilâl Testimony | Request PDF - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
[https://www.researchgate.net/publication/366621132 SYARI AND ASTRONOMY INTEGRATION TO DETERMINE THE BEGINNING OF HIJRI CALENDAR A Study of Elongation to Prove the Hilal Testimony](https://www.researchgate.net/publication/366621132_SYARI_AND_ASTRONOMY_INTEGRATION_TO_DETERMINE_THE_BEGINNING_OF_HIJRI_CALENDAR_A_Study_of_Elongation_to_Prove_the_Hilal_Testimony)
139. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion | Malaysian ..., diakses Mei 10, 2025, <https://mjs.um.edu.my/index.php/MJS/article/view/44110>
140. (PDF) OBSERVASI HILĀL DI INDONESIA DAN SIGNIFIKANSINYA ..., diakses Mei 10, 2025,
[https://www.researchgate.net/publication/305286226 OBSERVASI HILAL DI INDONESIA DAN SIGNIFIKANSINYA DALAM PEMBENTUKAN KRITERIA VISIBILITAS HILAL](https://www.researchgate.net/publication/305286226_OBSERVASI_HILAL_DI_INDONESIA_DAN_SIGNIFIKANSINYA_DALAM_PEMBENTUKAN_KRITERIA_VISIBILITAS_HILAL)
141. IMPLEMENTASI DATA IMAGE PROCESSING BMKG UNTUK KRITERIA VISIBILITAS HILAL - UIN Walisongo, diakses Mei 10, 2025,
[https://eprints.walisongo.ac.id/12146/1/TESIS 1702048010 Siti Lailatul Mukarramah.pdf](https://eprints.walisongo.ac.id/12146/1/TESIS_1702048010_Siti_Lailatul_Mukarramah.pdf)
142. New Imkanur Rukyat Criteria | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.scribd.com/doc/196062994/NEW-IMKANUR-RUKYAT-CRITERIA>
143. Optimist And Pessimist Moon-Sighting: The Study Of Islamic Calendar Determination In Indonesia - Semantic Scholar, diakses Mei 10, 2025,
<https://pdfs.semanticscholar.org/ae7d/bb7c8915e77b88ec96f71f00e8d249014>

[6ae.pdf](#)

144. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Malaysian Journal of Science, diakses Mei 10, 2025, <https://mjs.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192/166068>
145. Prosiding Pertemuan Ilmiah HFI-Jateng2011 - Fisika UNSOED | PDF - Scribd, diakses Mei 10, 2025, <https://www.scribd.com/doc/100488807/Prosiding-Pertemuan-Ilmiah-HFI-Jateng2011-Fisika-UNSOED>
146. catalog.lib.kyushu-u.ac.jp, diakses Mei 10, 2025, https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/7323406/2024_p1174.pdf
147. View of A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, <https://ojie.um.edu.my/index.php/MJS/article/view/44110/18192>
148. 1 ACCURATE HIJRI CALCULATOR 2.2 SEBAGAI PIRANTI HISAB PENENTUAN AWAL BULAN HIJRIAH BERDASARKAN KRITERIA VISIBILITAS HILAL NASION - Neliti, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/157925-ID-accurate-hijri-calculator-22-sebagai-pir.pdf>
149. Materials on the Moon - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/379413884_Materials_on_the_Moon
150. Validation of Prediction Models | Request PDF - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/334611098_Validation_of_Prediction_Models
151. (PDF) Toward a globally lunar calendar: a machine learning-driven approach for crescent moon visibility prediction - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/383059396_Toward_a_globally_lunar_calendar_a_machine_learning-driven_approach_for_crescent_moon_visibility_prediction
152. A Review on Modern Lunar Crescent Visibility Criterion - Malaysian Journal of International Relations, diakses Mei 10, 2025, <https://mjir.um.edu.my/index.php/MJS/article/download/44110/18192>
153. Crescent Conditions for Odeh criterion [17]. | Download Scientific Diagram - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Crescent-Conditions-for-Odeh-criterion-17_tbl4_364331452
154. arxiv.org, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634>
155. When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/pdf/2503.21634?>
156. (PDF) When Astronomy Meets AI: Manazel For Crescent Visibility Prediction in Morocco, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/390247405_When_Astronomy_Meets_AI_Manazel_For_Crescent_Visibility_Prediction_in_Morocco
157. Article.docx - Utrecht University Student Theses Repository Home, diakses Mei 10, 2025,

<https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/47078/Article.docx?sequence=1&isAllowed=y>

158. Babylonian crescent observation and ptolemaic-roman lunar dates - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/289874294_Babylonian_crescent_observation_and_ptolemaic-roman_lunar_dates
159. A Comprehensive Review on Lithium-Ion Battery Lifetime Prediction and Aging Mechanism Analysis - MDPI, diakses Mei 10, 2025, <https://www.mdpi.com/2313-0105/11/4/127>
160. Environmental Hydraulics Research - MDPI, diakses Mei 10, 2025, https://mdpi-res.com/bookfiles/book/3779/Environmental_Hydraulics_Research.pdf?v=1744333382
161. Crescent Moon Visibility A New Criterion Using Deep-Learned Artificial Neural Network, diakses Mei 10, 2025, <https://ru.scribd.com/document/772255379/Crescent-Moon-Visibility-A-New-Criterion-Using-Deep-Learned-Artificial-Neural-Network>
162. (PDF) Analytic Derivation & Topographic Application of the Crescent ..., diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/380396861_Analytic_Derivation_Topographic_Application_of_the_Crescent_Visibility_Parabola_Function
163. Artificial intelligence approaches for cardiovascular disease prediction: a systematic review, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/389464677_Artificial_intelligence_approaches_for_cardiovascular_disease_prediction_a_systematic_review
164. Artificial intelligence in stroke risk assessment and management via retinal imaging, diakses Mei 10, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/computational-neuroscience/articles/10.3389/fncom.2025.1490603/full>
165. arxiv.org, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/2503.21634>
166. Telaah Argumen Metode Hisab dan Rukyat dalam Perspektif Tafsir ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/view/1166>
167. media.neliti.com, diakses Mei 10, 2025, <https://media.neliti.com/media/publications/584067-the-global-islamic-calendar-according-to-4a7f4e5b.pdf>
168. The moon sighting paradox: Navigating the lunar calendar conundrum - Al Hakam, diakses Mei 10, 2025, <https://www.alhakam.org/the-moon-sighting-paradox/>
169. diakses Januari 1, 1970, https://www.researchgate.net/publication/257604108_Visibilitas_Hilal_di_Indonesia_Studi_Kritis_terhadap_Metode_Hisab_Rukyat_dan_Kriteria_Penentuan_Awal_Bulan_Kamariyah
170. (PDF) Renewing the Thoughts of the Hijri Calendar of Muhammadiyah, Nahdlatul Ulama and Persatuan Islam and Its Implications for Realization of

- National Hijri Calendar - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/353682437_Renewing_the_Thoughts_of_the_Hijri_Calendar_of_Muhammadiyah_Nahdlatul_Ulama_and_Persatuan_Islam_and_Its_Implications_for_Realization_of_National_Hijri_Calendar
171. Ramadan and Eid's Crescent Wars - New Lines Magazine, diakses Mei 10, 2025,
<https://newlinesmag.com/argument/ramadan-and-eids-crescent-wars/>
 172. The Problem with "Calculations Say Sighting Was Impossible" -
 joebradford.net, diakses Mei 10, 2025, <https://joebradford.net/the-problem-with-calculations-say-sighting-was-impossible/>
 173. Citizen science | EBSCO Research Starters, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.ebsco.com/research-starters/history/citizen-science>
 174. Re-evaluation of Hilaal Visibility in Indonesia Thomas Djamaluddin Center for
 Application of Space Science National Institute of, diakses Mei 10, 2025,
https://astronomycenter.net/pdf/djamaluddin_2001_in.pdf
 175. Urgensi Fatwa dan Sidang Isbat dalam Penentuan Awal Bulan ..., diakses Mei 10,
 2025, <https://jurnalbimasislam.kemenag.go.id/jbi/article/view/929>
 176. The Role of Public Law in Determining the Islamic Calendar in ..., diakses Mei 10,
 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25485>
 177. Astronomy Software for the Amateur Astronomer: Essential Tools for
 Stargazing Success, diakses Mei 10, 2025,
<https://spacevoyageventures.com/astronomy-software-for-the-amateur-astronomer/>
 178. (PDF) The Role of Citizen Science in Advancing Scientific Discovery, diakses
 Mei 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/384056593_The_Role_of_Citizen_Science_in_Advancing_Scientific_Discovery
 179. Prepared by Central Hilal Committee, diakses Mei 10, 2025,
<https://hilalcommittee.org/uploads/files/4fe714ab-34e3-4512-91b6-b01d0be74451.pdf>
 180. Ijtihad in Muhammadiyah: An Uşūl Al-Fiqh Study, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.webology.org/data-cms/articles/20220206042532pm19428.pdf>
 181. Vol. 03 No. 02. April-June 2025 Advance Social Science Archive Journal,
 diakses Mei 10, 2025,
<https://www.assajournal.com/index.php/36/article/download/310/444>
 182. Best Astronomy Weather App for Stargazing ... - Ouranos, diakses Mei 10,
 2025, <https://ouranos-app.com/api>
 183. Free Weather API - WorldWeatherOnline.com, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.worldweatheronline.com/weather-api/>
 184. Astronomical Applications API v4.0.1, diakses Mei 10, 2025,
<https://aa.usno.navy.mil/data/api>
 185. Astronomical Applications Department - CNMOC, diakses Mei 10, 2025,
<https://www.cnmoc.usff.navy.mil/Our-Commands/United-States-Naval-Observatory/Astronomical-Applications-Department/>

186. Complete Sun and Moon Data for One Day - Astronomical Applications Department, diakses Mei 10, 2025, https://aa.usno.navy.mil/data/RS_OneDay
187. Geolocation API overview | Google for Developers, diakses Mei 10, 2025, <https://developers.google.com/maps/documentation/geolocation/overview>
188. Geolocation API - Web APIs | MDN, diakses Mei 10, 2025, https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Geolocation_API
189. Differences Between Django vs Flask - GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/differences-between-django-vs-flask/>
190. Flask vs Django – Which Framework Should You Choose in 2024 | GeeksforGeeks, diakses Mei 10, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/flask-vs-django/>
191. Django vs Flask: The Best Python Web Framework in 2024? - Cloudways, diakses Mei 10, 2025, <https://www.cloudways.com/blog/django-or-flask/>
192. Flask vs Django: How to Choose the Right Python Web Framework for Your Project - Apidog, diakses Mei 10, 2025, <https://apidog.com/blog/flask-vs-django/>
193. matplotlib - 2D and 3D plotting in Python, diakses Mei 10, 2025, <https://www.southampton.ac.uk/~fangohr/training/python/notebooks/Matplotlib.html>
194. webspace.science.uu.nl, diakses Mei 10, 2025, https://webspace.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam_lunvis_method.htm
195. mplot3d View Angles — Matplotlib 3.10.1 documentation, diakses Mei 10, 2025, https://matplotlib.org/stable/api/toolkits/mplot3d/view_angles.html
196. GitHub - crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility: Code is ..., diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility>
197. Contour plot and Cartopy - Geostationary satellite view [Plots, Code,Attempt], diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/78108932/contour-plot-and-cartopy-geostationary-satellite-view-plots-code-attempt>
198. A Simplified Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, https://luk.staff.ugm.ac.id/artikel/Ramadhan/ICOP/ozlem_2014.pdf
199. crescent-moon-visibility - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/crescent-moon-visibility>
200. discussion_sol_AV_NLP - Kaggle, diakses Mei 10, 2025, <https://www.kaggle.com/code/jassican/discussion-sol-av-nlp>
201. High-Precision Registration of Lunar Global Mapping Products Based on Spherical Triangular Mesh - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/359291168_High-Precision_Registration_of_Lunar_Global_Mapping_Products_Based_on_Spherical_Triangular_Mesh
202. Full text of "424" - Internet Archive, diakses Mei 10, 2025, https://archive.org/stream/ilmetaugeet_gmail_424/424_djvu.txt
203. diakses Januari 1, 1970,

- https://webpace.science.uu.nl/~gent0113/islam/islam_lunvis_yallop_odeh.html
204. diakses Januari 1, 1970, <https://github.com/crescent-moon-visibility/crescent-moon-visibility/blob/master/README.md>
205. Leveraging AI for Personalized User Experiences: A Practical Guide - DEV Community, diakses Mei 10, 2025, <https://dev.to/tomboyle/leveraging-ai-for-personalized-user-experiences-a-practical-guide-32o0>
206. Al Ra'ed - Al Hilal prediction & tips 07.05.2025 - Transfermarkt, diakses Mei 10, 2025, <https://www.transfermarkt.com/betting/tips/al-raed-vs-al-hilal-prediction-07-05-2025/>
207. Coordinates — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/coordinates.html>
208. Using Skyfield with AstroPy - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/astropy.html>
209. islamic_hijri_calendar - Flutter package in Date & Time Picker category | Flutter Gems, diakses Mei 10, 2025, https://fluttergems.dev/packages/islamic_hijri_calendar/
210. Crescent Moon Visibility: A New Criterion using Deep learned Artificial Neural-Network, diakses Mei 10, 2025, <https://ijs.uobaghdad.edu.iq/index.php/eijs/article/view/8833?articlesBySimilarityPage=29>
211. Papers by Yassir Lairgi - AIModels.fyi, diakses Mei 10, 2025, <https://www.aimodels.fyi/author-profile/yassir-lairgi-c24bede7-0bf7-4751-a717-2eaf358b815e>
212. jose.theoj.org, diakses Mei 10, 2025, <https://jose.theoj.org/papers/10.21105/jose.00261.pdf>
213. AstronomyCalc: A python toolkit for teaching Astronomical Calculations and Data Analysis methods - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/html/2501.05491v1>
214. Astronomical Python: An introduction to modern scientific ..., diakses Mei 10, 2025, <https://www.amazon.com/Astronomical-Python-introduction-scientific-programming/dp/0750351489>
215. IOPP: Title Detail: Astronomical Python by Imad Pasha - IOP Publishing: Bookstore, diakses Mei 10, 2025, <https://store.ioppublishing.org/page/detail/Astronomical-Python/?k=9780750351454>
216. The Power of Python in Scientific Fields - Code Institute Global, diakses Mei 10, 2025, <https://codeinstitute.net/global/blog/the-power-of-python-in-scientific-fields/>
217. Commentary in Nature Astronomy on the use of Python - Department of Meteorology, diakses Mei 10, 2025, <https://www.su.se/department-of-meteorology/commentary-in-nature-astronomy-on-the-use-of-python-1.551838>
218. Episode #81 - Python and Machine Learning in Astronomy, diakses Mei 10,

- 2025, <https://talkpython.fm/episodes/show/81/python-and-machine-learning-in-astronomy>
219. Astropy - (Astrophysics I) - Vocab, Definition, Explanations | Fiveable, diakses Mei 10, 2025, <https://library.fiveable.me/key-terms/astrophysics-i/astropy>
220. proceedings.scipy.org, diakses Mei 10, 2025, <https://proceedings.scipy.org/articles/Majora-7b98e3ed-012.pdf>
221. Astropy Table and DataFrames, diakses Mei 10, 2025, https://docs.astropy.org/en/stable/table/table_and_dataframes.html
222. Astropy, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astropy.org/>
223. About The Astropy Project, diakses Mei 10, 2025, <https://www.astropy.org/about.html>
224. astronomycenter.net, diakses Mei 10, 2025, https://astronomycenter.net/pdf/yallop_1997.pdf
225. Formulas to determine the illuminated phase and orientation of the Moon, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/1709/formulas-to-determine-the-illuminated-phase-and-orientation-of-the-moon>
226. Celestial Mechanics Solutions where the Future is a Perfect Reflection of the Past - arXiv, diakses Mei 10, 2025, <https://arxiv.org/abs/2112.11922>
227. Determining and plotting the altitude/azimut of a celestial object - Astropy Docs, diakses Mei 10, 2025, https://docs.astropy.org/en/latest/coordinates/example_gallery_plot_obs_planning.html
228. Ephemerides - My Coding, diakses Mei 10, 2025, <https://mycoding.uk/a/ephemerides.html>
229. Distance to Moon: inconsistent results? - Astropy - OpenAstronomy Community, diakses Mei 10, 2025, <https://community.openastronomy.org/t/distance-to-moon-inconsistent-results/217>
230. PyEphem home page - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/pyephem/>
231. Revitalizing Astronomical Azimut Determination: Integrating Modern Computing with Traditional Techniques, diakses Mei 10, 2025, https://re.public.polimi.it/bitstream/11311/1287276/1/sensors-25-01871_small.pdf
232. Planetary Ephemeris — Orbital Mechanics & Astrodynamics, diakses Mei 10, 2025, <https://orbital-mechanics.space/reference/planetary-ephemeris.html>
233. Moon Fact Sheet, diakses Mei 10, 2025, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>
234. Examples — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodesmill.org/skyfield/examples.html>
235. skyfield-data - PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/skyfield-data/>

- 236. Skyfield — documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/>
- 237. skyfield - PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/skyfield/>
- 238. Compute Moon and Venus Phase Angles with astropy - GitHub, diakses Mei 10, 2025, https://github.com/egemenimre/satstuff/blob/master/notebooks/astropy/moon_venus_phase.ipynb
- 239. find_discrete is more reliable than find_risings/settings · Issue #998 · skyfielders/python ... - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/issues/998>
- 240. astronomy-engine - PyPI, diakses Mei 10, 2025, <https://pypi.org/project/astronomy-engine/>
- 241. Introduction to PyEphem Library - Ontosight, diakses Mei 10, 2025, <https://ontosight.ai/glossary/term/introduction-to-pyephem-library--67a165f06c3593987a56bd06>
- 242. Finding lat/lon during an eclipse · skyfielders python-skyfield · Discussion #801 - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/discussions/801>
- 243. Almanac Computation — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/almanac.html>
- 244. python-skyfield/CHANGELOG.rst at master - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/blob/master/CHANGELOG.rst>
- 245. Longitude of lunar nodes using Skyfield - python - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/45909580/longitude-of-lunar-nodes-using-skyfield>
- 246. Positions — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/positions.html>
- 247. python-skyfield/skyfield/almanac.py at master - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/blob/master/skyfield/almanac.py>
- 248. Better way to calculate apparent angular separation of two objects in Skyfield?, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/36111098/better-way-to-calculate-apparent-angular-separation-of-two-objects-in-skyfield>
- 249. API Reference — Astronomical Positions — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/api-position.html>
- 250. How to calculate the start and end time and position (Alt, Az) of a star transiting behind the moon? - Astronomy Stack Exchange, diakses Mei 10, 2025, <https://astronomy.stackexchange.com/questions/59986/how-to-calculate-the-start-and-end-time-and-position-alt-az-of-a-star-transit>
- 251. Newest 'skyfield' Questions - Stack Overflow, diakses Mei 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/tagged/skyfield>
- 252. Revitalizing Astronomical Azimut Determination: Integrating Modern

- Computing with Traditional Techniques - MDPI, diakses Mei 10, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1871>
253. ITRS — Astropy v7.0.1, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.astropy.org/en/stable/api/astropy.coordinates.ITRS.html>
254. Method for apparent angular separation · Issue #83 - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/skyfielders/python-skyfield/issues/83>
255. API Reference — Planetary Ephemerides — Skyfield documentation - Rhodes Mill, diakses Mei 10, 2025, <https://rhodessmill.org/skyfield/api-ephemeris.html>
256. get_body — Astropy v7.0.1, diakses Mei 10, 2025, https://docs.astropy.org/en/stable/api/astropy.coordinates.get_body.html
257. The earth is 0.4 AU from the earth? - Astropy - OpenAstronomy Community, diakses Mei 10, 2025, <https://community.openastronomy.org/t/the-earth-is-0-4-au-from-the-earth/1203>
258. get_sun — Astropy v7.0.1, diakses Mei 10, 2025, https://docs.astropy.org/en/stable/api/astropy.coordinates.get_sun.html
259. Astronomical Coordinate Systems (astropy.coordinates) — Astropy v7.0.1 - Astropy Docs, diakses Mei 10, 2025, <https://docs.astropy.org/en/stable/coordinates/index.html>
260. diakses Januari 1, 1970, <https://rhodessmill.org/skyfield/documentation.html>
261. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, diakses Mei 10, 2025, https://ssd.jpl.nasa.gov/planets/eph_export.html
262. msyazwanfaid/hilalpy: A package to analyse the data of Moon sighting for lunar crescent visibility criterion - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/msyazwanfaid/hilalpy>
263. falakmu.id, diakses Mei 10, 2025, https://falakmu.id/hilal/yallop_1997.pdf
264. The Extended Crescent Visibility Criterion, diakses Mei 10, 2025, https://astronomycenter.net/pdf/ozlem_2014.pdf
265. Practical Astronomy with your Calculator or Spreadsheet | Request PDF - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/253077889_Practical_Astronomy_with_your_Calculator_or_Spreadsheet
266. Diameter, Apparent - Stellar Astronomy - Simply Explained | Home Page, diakses Mei 10, 2025, <https://www.tidjma.tn/astro/diameter---apparent/>
267. Moon Phase Calendar for 2025 - Farmer's Almanac, diakses Mei 10, 2025, <https://www.almanac.com/astronomy/moon/calendar>
268. HilalPy - Code Ocean, diakses Mei 10, 2025, <https://codeocean.com/capsule/7338838/tree/v1>
269. New Moon Sighting With AI Technology: A Revolution in Islamic Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://linkdevelopment.com/blog/technology/new-moon-sighting-with-ai-technology-a-revolution-in-islamic-astronomy/>
270. Implementasi data image processing BMKG untuk kriteria visibilitas ..., diakses Mei 10, 2025, <https://eprints.walisongo.ac.id/12146/>
271. Map of Hilal Visibility on Early Syawal 1438H/2017M (Odeh) - ResearchGate,

- diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Hilal-Visibility-on-Early-Syawal-1438H-2017M-Odeh_fig1_323181789
272. Modeling Ramadan Hilal Classification with Image Processing Technology Using YOLO Algorithm - Bright Publisher, diakses Mei 10, 2025, <https://bright-journal.org/Journal/index.php/JADS/article/download/311/246>
273. Phases of the Moon (Credit to Google Image) - ResearchGate, diakses Mei 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Phases-of-the-Moon-Credit-to-Google-Image_fig1_319873512
274. Buku Ajar Pengolahan Citra Digital - Umsida Press, diakses Mei 10, 2025, <https://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/download/978-623-464-075-5/1125>
275. Astronomical Image Denoising by Self-Supervised Deep Learning and Restoration Processes | Research Communities by Springer Nature, diakses Mei 10, 2025, <https://communities.springernature.com/posts/astronomical-image-denoising-by-self-supervised-deep-learning-and-restoration-processes>
276. How to design modular Python projects - LabEx, diakses Mei 10, 2025, <https://labex.io/tutorials/python-how-to-design-modular-python-projects-420186>
277. Design Patterns in Python - Refactoring.Guru, diakses Mei 10, 2025, <https://refactoring.guru/design-patterns/python>
278. Access-Point Centered Window-Based Radio-Map Generation Network - PMC, diakses Mei 10, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8472868/>
279. sambit-giri/AstronomyCalc - GitHub, diakses Mei 10, 2025, <https://github.com/sambit-giri/AstronomyCalc>
280. Menakar Ulang Batas Visibilitas Hilal: Kajian Kritis atas Kriteria Baru ..., diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/2218>
281. Implikasi Kriteria Visibilitas Hilal Rekomendasi Jakarta 2017 Terhadap Penanggalan Hijriah di Indonesia | Azimut: Journal of Islamic Astronomy, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/786>
282. Azimutal Adaptation of the Moon-Based Raşdu al-Qiblah Method, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/26050/6742>
283. diakses Januari 1, 1970, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/2218/1278>
284. diakses Januari 1, 1970, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/2218/1364>
285. diakses Januari 1, 1970, <https://jurnalfsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/view/2218/1278>
286. Territory, Hilāl, and Sovereignty: Revisiting Indonesia's Maṭla ..., diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/25278>
287. Al-Hilal (UIN Walisongo Semarang) | 23 Publications | Top authors | Related

- journals, diakses Mei 10, 2025, <https://scispace.com/journals/al-hilal-2tbizh57>
288. Sighting of the Moon/Crescent - Al Islam, diakses Mei 10, 2025, <https://www.alislam.org/articles/sighting-of-moon-crescent/>
289. HM Nautical Almanac Office - GOV.UK, diakses Mei 10, 2025, <https://www.gov.uk/government/organisations/hm-nautical-almanac-office>
290. About us - HM Nautical Almanac Office - GOV.UK, diakses Mei 10, 2025, <https://www.gov.uk/government/organisations/hm-nautical-almanac-office/about>
291. HM Nautical Almanac Office - Wikipedia, diakses Mei 10, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/HM_Nautical_Almanac_Office
292. Astronomy in the Service of Islam / Edition 1 by David A. King | 9780860783572 | Hardcover, diakses Mei 10, 2025, <https://www.barnesandnoble.com/w/astronomy-in-the-service-of-islam-david-a-king/1128482642>
293. Astronomy in the Service of Islam | David A. King | Taylor & Francis e, diakses Mei 10, 2025, <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003557166/astronomy-service-islam-david-king>
294. Islamic Astronomy and Geography | David A. King | Taylor & Francis eBo, diakses Mei 10, 2025, <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003278924/islamic-astronomy-geography-david-king>
295. Islamic Astronomy and Geography by David A. King | eBook | Barnes & Noble®, diakses Mei 10, 2025, <https://www.barnesandnoble.com/w/islamic-astronomy-and-geography-david-a-king/1128426441>
296. Popular Islamic Astronomy Books - Goodreads, diakses Mei 10, 2025, <https://www.goodreads.com/shelf/show/islamic-astronomy>
297. jurnalsh.uinsa.ac.id, diakses Mei 10, 2025, <https://jurnalsh.uinsa.ac.id/index.php/azimut/article/download/712/574>
298. Danjon Limit - The Moon, diakses Mei 10, 2025, https://the-moon.us/wiki/Danjon_Limit
299. Determination of Islamic Month Start by Moonsighting Australia (Case Study - Semantic Scholar, diakses Mei 10, 2025, <https://pdfs.semanticscholar.org/d326/765447462b732860fb5c1d63ae5b3af216c3.pdf>
300. Introduction to Falak Syar'i: Islamic Astronomy for Beginners - Firdaus Yahya - Google Books, diakses Mei 10, 2025, https://books.google.com/books/about/Introduction_to_Falak_Syar_i.html?id=HkWLzwEACAAJ
301. Astronomical Python - Dubray Books, diakses Mei 10, 2025, <https://www.dubraybooks.ie/product/astronomical-python-9780750351454>
302. Master Python's argparse Module: Build Better CLIs - DataCamp, diakses Mei 10, 2025, <https://www.datacamp.com/tutorial/python-argparse>

- 303. Introduction to Python for Astronomers - DeCal, diakses Mei 10, 2025, <https://decal.studentorg.berkeley.edu/courses/7706>
- 304. Machine Learning for Physics and Astronomy: A New Way to Explore the Universe, diakses Mei 10, 2025, <https://catalog.precollege.brown.edu/detail/CEPI0942>
- 305. Computational Life Sciences Master's | ASU Online, diakses Mei 10, 2025, <https://asuonline.asu.edu/online-degree-programs/graduate/computational-life-sciences/>
- 306. Computational Machine Learning for Scientists and Engineers, diakses Mei 10, 2025, <https://ope.engin.umich.edu/pe/computational-machine-learning/>
- 307. Contributions of 'citizen science' to occultation astronomy ... - Journals, diakses Mei 10, 2025, <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rsta.2024.0197>
- 308. UNISTELLAR CITIZEN SCIENCE | FEEL THE THRILLS OF SCIENTIFIC DISCOVERY, diakses Mei 10, 2025, <https://science.unistellar.com/>
- 309. WITH CRITERIA IMKAN AL-RUKYAT MABIMS (Case Study, diakses Mei 10, 2025, <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/al-hilal/article/view/7733/3287>

GLOSSARIUM ASTRONOMI

DAFTAR GLOSSARIUM ASTRONOMI ISLAM & PYTHON

[Bagian 1: Entri 1–100] – Huruf A

Berikut adalah 100 entri pertama (huruf A) dalam urutan abjad:

Huruf A

1. Ablation

Proses pengikisan permukaan benda langit akibat panas atau radiasi, seperti pada meteor saat memasuki atmosfer Bumi.

2. Absolute Magnitude

Kecerahan intrinsik bintang jika ditempatkan pada jarak standar 10 parsec, digunakan untuk membandingkan kecerahan sebenarnya bintang.

3. Accretion Disk

Cakram materi yang mengelilingi bintang atau objek padat di ruang angkasa, sering muncul dalam sistem biner atau lubang hitam.

4. Active Galactic Nucleus (AGN)

Inti galaksi aktif yang memancarkan energi sangat tinggi, diduga karena adanya lubang hitam supermasif di pusatnya.

5. Adaptive Optics

Teknologi teleskop yang memperbaiki distorsi gambar akibat turbulensi atmosfer Bumi, meningkatkan kualitas pengamatan astronomi.

6. Adjacency Matrix

Dalam pemrograman graf, merupakan representasi data hubungan antar titik (node), digunakan dalam simulasi orbit atau jejaring astronomi.

7. Albedo

Rasio cahaya yang dipantulkan oleh permukaan suatu benda langit terhadap cahaya yang diterimanya; penting dalam menentukan visibilitas hilal.

8. Algorithm

Urutan langkah logis untuk menyelesaikan masalah; banyak digunakan dalam hisab dan prediksi posisi matahari dan bulan.

9. Altitude

Tinggi benda langit di atas horison, diukur dalam derajat, digunakan untuk mengetahui apakah hilal cukup tinggi untuk terlihat.

10. Analemma

Gambar delapan yang dibentuk oleh posisi Matahari di langit setiap hari pada waktu yang sama selama setahun, hasil dari kemiringan sumbu Bumi dan orbit elips.

11. Angular Diameter

Ukuran sudut diameter benda langit dilihat dari Bumi, penting dalam menentukan ukuran tampak Bulan.

12. Annual Motion

Gerakan semu tahunan Matahari di langit akibat revolusi Bumi, menyebabkan perubahan waktu salat sepanjang tahun.

13. Apparent Solar Day

Waktu antara dua transit matahari nyata berturut-turut di meridian pengamat, berbeda-beda tiap hari.

14. Apparent Solar Time

Waktu berdasarkan posisi sebenarnya Matahari di langit, tidak seragam karena variasi orbit Bumi.

15. Apparent Time

Waktu berdasarkan posisi sebenarnya benda langit, berbeda dengan waktu rata-rata.

16. Apogee

Titik terjauh Bulan dari Bumi dalam orbitnya.

17. Apocalypse

Istilah agama yang merujuk pada peristiwa besar dunia akhir zaman, kadang dikaitkan dengan fenomena astronomi seperti gerhana total.

18. Apsis

Titik terdekat (perihelion/perigee) atau terjauh (aphelion/apogee) suatu benda dalam orbitnya terhadap benda lain.

19. Arcminute (')

Satuan sudut yang setara dengan $1/60$ derajat, digunakan dalam pengukuran ukuran tampak Bulan.

20. Arcsecond (")

Satuan sudut yang setara dengan $1/3600$ derajat, digunakan dalam pengukuran presisi tinggi seperti posisi bintang.

21. Artificial Intelligence (AI)

Teknologi komputer yang meniru kecerdasan manusia, digunakan dalam analisis citra astronomi dan prediksi visibilitas hilal.

22. Astrobiology

Ilmu yang mempelajari potensi kehidupan di luar Bumi, meskipun tidak langsung berkaitan dengan Astronomi, relevan dalam konteks kosmologi Islam.

23. Astrometry

Cabang astronomi yang mempelajari pengukuran presisi posisi dan gerakan benda langit.

24. Astrophysics

Cabang astronomi yang mempelajari sifat fisika benda langit, termasuk radiasi dan struktur internal bintang.

25. Astrolabe

Alat astronomi kuno yang digunakan untuk mengukur ketinggian benda langit dan menentukan waktu salat.

26. Atmospheric Extinction

Pengurangan intensitas cahaya benda langit akibat penyerapan dan hamburan oleh atmosfer.

27. Azimut

Sudut arah horisontal benda langit dari arah utara geografis, digunakan untuk menentukan arah hilal di langit.

28. Azimutal Projection

Metode proyeksi peta yang berpusat pada satu titik (misalnya kota Makkah), digunakan dalam penentuan arah kiblat.

29. Ayanamsa

Perbedaan antara zodiak tropis dan zodiak sidereal akibat presepsi sumbu Bumi, digunakan dalam astrologi dan astronomi tradisional.

30. Axis Tilt

Kemiringan sumbu rotasi Bumi ($\sim 23,5^\circ$), menjadi penyebab musim dan variasi waktu siang/malam.

31. Ayan

Bulan dalam kalender Hijriah, salah satu dasar penanggalan dalam Islam.

32. Astronomical Algorithms

Metode matematis presisi tinggi untuk menghitung posisi benda langit, seperti yang dikembangkan oleh Jean Meeus.

33. Almanac

Publikasi tahunan yang berisi data efemeris untuk benda langit, digunakan dalam perhitungan waktu salat dan awal bulan.

34. Amplitude

Selisih antara sudut azimut maksimum dan minimum Matahari sepanjang tahun, digunakan dalam penentuan waktu syuruq dan isya'.

35. Aether Theory

Teori kuno tentang medium transparan yang mengisi alam semesta, tempat benda-benda langit bergerak; sudah tidak digunakan sejak abad ke-20.

36. Aphelion

Titik terjauh Bumi dari Matahari dalam orbitnya.

37. Annular Eclipse

Gerhana matahari cincin, terjadi ketika Bulan berada di titik apogee dan tidak sepenuhnya menutupi Matahari.

38. Antumbra

Wilayah bayangan yang terbentuk saat gerhana matahari annular, tempat pengamat melihat matahari sebagai cincin.

39. Angular Momentum

Momentum sudut benda yang berputar atau mengorbit, menjaga stabilitas orbit Bumi dan Bulan.

40. Ascending Node

Titik di mana orbit Bulan melintasi ekuator langit dari selatan ke utara.

41. Arithmetic Mean

Rata-rata hitung dari sekumpulan nilai numerik; digunakan dalam analisis data astronomi seperti rata-rata ketinggian hilal.

42. Array Broadcasting

Fitur dalam NumPy yang memungkinkan operasi matematika antara array dengan bentuk berbeda.

43. Autumnal Equinox

Titik di langit tempat Matahari melintasi ekuator langit menuju belahan selatan, menandai musim gugur di belahan bumi utara.

44. AU (Astronomical Unit)

Satuan jarak antara Bumi dan Matahari (~149,6 juta km), digunakan dalam skala tata surya.

45. Azimutal Quantum Number

Nomor kuantum yang menentukan momentum sudut orbital elektron, bukan bagian dari Astronomi tetapi relevan dalam astrofisika.

46. Astronomy

Ilmu yang mempelajari benda-benda langit dan fenomena di luar Bumi, termasuk penentuan waktu ibadah dalam Islam.

47. Astronomical Coordinates

Sistem koordinat untuk menentukan lokasi benda langit di langit, seperti sistem horisontal, ekuatorial, dan ekliptika.

48. Astronomical Unit (AU)

Jarak rata-rata antara Bumi dan Matahari, digunakan dalam pengukuran skala tata surya.

49. Astronomical Data Analysis

Analisis data observasi astronomi menggunakan alat komputasi seperti Python dan pustaka ilmiahnya.

50. Astronomical Ephemeris

Tabel atau database yang berisi informasi posisi benda langit pada waktu-waktu tertentu.

51. Astronomical Imaging

Pengambilan gambar benda langit menggunakan teleskop dan kamera digital, digunakan dalam rukyat digital.

52. Astronomical Software

Program komputer untuk simulasi dan perhitungan astronomi, seperti Stellarium, PyEphem, dan Skyfield.

53. Astronomical Telescope

Alat optik untuk mengamati benda langit, digunakan dalam rukyatul hilal modern.

54. Astronomical Visibility

Kondisi kemungkinan benda langit terlihat dengan mata telanjang, penting dalam kriteria Imkan Rukyat.

55. Astronomical Weather

Kondisi atmosfer yang mempengaruhi pengamatan astronomi, seperti kelembaban, awan, dan polusi cahaya.

56. Astronomical Year

Satu tahun astronomis (~365,256 hari), sedikit lebih panjang dari tahun kalender.

57. Astronomical Zenith

Titik di langit yang tepat di atas pengamat, digunakan dalam sistem koordinat horisontal.

58. Astronomical Latitude

Lintang astronomis, ditentukan dari pengamatan bintang tetap, berbeda dengan lintang geografis.

59. Astronomical Longitude

Bujur astronomis, ditentukan dari pengamatan waktu universal dan waktu lokal.

60. Astronomical Refraction

Pembiasan cahaya benda langit oleh atmosfer Bumi, menyebabkan benda tampak lebih tinggi dari posisi sebenarnya.

61. Astronomical Seeing

Kualitas atmosfer yang mempengaruhi stabilitas citra benda langit dalam teleskop.

62. Astronomical Horison

Garis batas antara langit dan bumi dari perspektif pengamat, menjadi acuan dalam sistem koordinat horisontal.

63. Astronomical Meridian

Lingkaran khayal di langit yang menghubungkan kutub utara-selatan dan melewati zenit pengamat.

64. Astronomical Transit

Peristiwa benda langit melewati meridian pengamat, biasanya digunakan untuk menentukan waktu lokal.

65. Astronomical Culmination

Saat benda langit mencapai titik tertinggi di langit (upper culmination) atau terendah (lower culmination).

66. Astronomical Apparent Motion

Gerakan semu benda langit akibat rotasi dan revolusi Bumi.

67. Astronomical Parallax

Perbedaan posisi benda langit karena perbedaan posisi pengamat, digunakan dalam perhitungan jarak.

68. Astronomical Light Pollution

Polusi cahaya dari perkotaan yang mengurangi kemampuan pengamatan benda langit redup seperti hilal.

69. Astronomical Observation

Aktivitas mengamati benda langit secara visual atau dengan alat, digunakan dalam rukyat.

70. Astronomical Catalog

Daftar bintang atau benda langit beserta informasi posisi dan karakteristiknya.

71. Astronomical Database

Koleksi data astronomi yang tersimpan secara digital, digunakan dalam penelitian dan aplikasi falak.

72. Astronomical Algorithm

Metode perhitungan untuk menentukan posisi benda langit, seperti Almanak Ummul Qura.

73. Astronomical Calendar

Kalender yang berbasis pada siklus astronomi seperti bulan dan matahari.

74. Astronomical Event

Kejadian langit seperti gerhana, konjungsi, atau transit planet, sering menjadi perhatian dalam Astronomi.

75. Astronomical Calculation

Proses perhitungan posisi benda langit, digunakan dalam hisab untuk menentukan awal bulan hijriah.

76. Astronomical Software Library

Pustaka komputasi untuk perhitungan astronomi seperti **pyephem**, **skyfield**, dan **astropy**.

77. Astronomical Coordinate System

Sistem referensi untuk menentukan posisi benda langit, seperti sistem horisontal, ekuatorial, dan ekliptika.

78. Astronomical Image Processing

Pemrosesan citra astronomi untuk meningkatkan kualitas dan mendeteksi objek redup.

79. Astronomical Photometry

Pengukuran kecerahan benda langit, digunakan untuk mengamati cahaya hilal.

80. Astronomical Spectroscopy

Analisis spektrum cahaya benda langit untuk mengetahui komposisi dan suhu.

81. Astronomical Redshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah merah akibat gerakan menjauh sumber cahaya.

82. Astronomical Blueshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah biru akibat gerakan mendekat sumber cahaya.

83. Astronomical Doppler Effect

Perubahan frekuensi gelombang akibat gerakan relatif antara sumber dan pengamat.

84. Astronomical Celestial Sphere

Model khayalan berupa bola besar tempat benda-benda langit tampak tergantung untuk mempermudah analisis astronomi.

85. Astronomical Vernal Equinox

Titik di langit tempat Matahari melintasi ekuator langit menuju belahan utara, menandai musim semi di belahan bumi utara.

86. Astronomical Autumnal Equinox

Titik di langit tempat Matahari melintasi ekuator langit menuju belahan selatan.

87. Astronomical Precession of the Equinoxes

Pergerakan lambat titik ekuinoks akibat goyangan sumbu Bumi, siklusnya sekitar 26.000 tahun.

88. Astronomical Obliquity of the Ecliptic

Sudut kemiringan sumbu rotasi Bumi terhadap bidang orbitnya ($\sim 23,5^\circ$).

89. Astronomical Nutation

Getaran halus sumbu Bumi akibat gaya tarik gravitasi Bulan dan Matahari.

90. Astronomical Proper Motion

Gerakan nyata bintang di langit relatif terhadap bintang latar belakang.

91. Astronomical Radial Velocity

Kecepatan benda langit menjauh atau mendekat relatif terhadap pengamat.

92. Astronomical Orbit

Lintasan benda langit mengelilingi benda lain akibat gaya gravitasi.

93. Astronomical Eccentricity

Ukuran kelengkungan orbit; semakin mendekati nol, semakin lingkaran.

94. Astronomical Inclination

Kemiringan orbit benda langit terhadap bidang referensi.

95. Astronomical Apogee

Titik terjauh Bulan dari Bumi dalam orbitnya.

96. Astronomical Perigee

Titik terdekat Bulan dari Bumi dalam orbitnya.

97. Astronomical Aphelion

Titik terjauh Bumi dari Matahari dalam orbitnya.

98. Astronomical Perihelion

Titik terdekat Bumi ke Matahari dalam orbitnya.

99. Astronomical Anomaly

Sudut yang menunjukkan posisi benda dalam orbitnya, seperti anomali rata-rata.

100. Astronomical Ascending Node

Titik di mana orbit Bulan melintasi ekuator langit dari selatan ke utara.



DAFTAR GLOSSARIUM ASTRONOMI ISLAM & PYTHON



[Bagian 2: Entri 101–200] – Huruf B

Berikut adalah 100 entri kedua (huruf B) dalam urutan abjad:

101. Backward Orbit

Orbit dengan arah berlawanan dengan rotasi bumi atau matahari; biasanya dimiliki oleh satelit alami yang tertangkap gravitasi.

102. Barlow Lens

Lensa tambahan pada teleskop yang memperbesar citra objek langit seperti hilal.

103. Barycenter

Pusat massa bersama dua atau lebih benda langit yang saling mengorbit, seperti antara Bumi dan Bulan.

104. Barycentric Time

Waktu yang dihitung dari pusat massa tata surya, digunakan dalam efemeris presisi tinggi.

105. Base Class

Dalam pemrograman berorientasi objek (OOP), kelas dasar yang menjadi induk dari kelas turunan; sering digunakan dalam pengembangan aplikasi hisab.

106. Bayesian Statistics

Metode statistik yang menggunakan probabilitas untuk merepresentasikan ketidakpastian, digunakan dalam analisis data visibilitas hilal.

107. Beid Al-Haramain

Dua tanah suci Makkah dan Madinah, menjadi acuan penentuan waktu salat dan arah kiblat.

108. Beta Testing

Tahap akhir pengujian software sebelum dirilis secara publik, sering dilakukan pada aplikasi kalender Hijriah digital.

109. Bias Frame

Gambar referensi dalam fotografi astronomi untuk mengoreksi noise elektronik sensor kamera.

110. Binary Star

Sistem dua bintang yang saling mengorbit satu sama lain karena gaya gravitasi.

111. Black Body Radiation

Radiasi elektromagnetik ideal yang dipancarkan oleh benda hitam sempurna; digunakan dalam studi spektrum bintang.

112. Blueshift

Perubahan panjang gelombang cahaya ke arah biru akibat gerakan mendekat sumber cahaya.

113. Bolometric Magnitude

Kecerahan bintang jika semua energi elektromagnetiknya diukur, bukan hanya cahaya tampak.

114. Bootstrap Method

Teknik statistik untuk menaksir ketidakpastian dengan sampling ulang, digunakan dalam validasi

model visibilitas hilal.

115. Bound Orbit

Orbit tertutup di mana benda tetap terikat oleh gravitasi benda lain, seperti Bulan mengorbit Bumi.

116. Bowtie Effect

Distorsi bentuk sabit bulan saat dilihat dari lokasi lintang tinggi, penting dalam rukyatul hilal.

117. Brilliant Crescent

Hilal dengan sudut elongasi besar dan mudah terlihat dengan mata telanjang.

118. Brown Dwarf

Objek antara planet dan bintang yang tidak cukup masif untuk melakukan fusi hidrogen.

119. BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional)

Lembaga riset Indonesia yang menggantikan LAPAN dan BPPT, ikut serta dalam penelitian Hisab dan Rukyat.

120. Bujur Ekliptika

Posisi sudut benda langit sepanjang bidang ekliptika dari titik Aries.

121. Bujur Geografis

Koordinat geografis yang menunjukkan posisi timur/barat relatif terhadap meridian Greenwich.

122. Bulan Baru

Fase bulan ketika Bulan berada di antara Matahari dan Bumi, menjadi awal bulan hijriah.

123. Bulan Purnama

Fase bulan ketika seluruh permukaannya terkena sinar matahari dan terlihat penuh dari Bumi.

124. Bulan Sabit

Fase bulan ketika hanya sebagian kecil dari permukaan bulan yang terlihat dari Bumi.

125. Bulan Tenggelam

Keadaan bulan sudah terbenam sebelum matahari terbenam, menyulitkan rukyatul hilal.

126. Bulan Terbit

Waktu ketika bulan mulai terlihat di horison.

127. Bulan Terbenam

Waktu ketika bulan sepenuhnya tenggelam di horison.

128. Bulan Wajib

Bulan yang wajib diikuti dalam kalender Hijriah untuk ibadah puasa, salat Idul Fitri/Adha.

129. Bulan Kamariyah

Satu siklus bulan baru sampai bulan baru berikutnya (~29,5 hari).

130. Bulan Syakban

Bulan kedelapan dalam kalender Hijriah, menjadi penanda awal persiapan Ramadan.

131. Bulan Dzulqida

Salah satu bulan haram, menjadi masa damai menjelang ibadah haji.

132. Bulan Zulhijah

Bulan kedua belas dalam kalender Hijriah, tempat pelaksanaan ibadah haji dan Idul Adha.

133. Bulan Safar

Bulan kedua dalam kalender Hijriah, banyak mitos dan tradisi berkaitan dengannya.

134. Bulan Rajab

Bulan ketujuh dalam kalender Hijriah, salah satu bulan haram.

135. Bulan Jumadil Awal

Bulan kelima dalam kalender Hijriah, bagian dari bulan-bulan yang memiliki makna historis.

136. Bulan Jumadilakhir

Bulan keenam dalam kalender Hijriah, lanjutan dari bulan Jumadil Awal.

137. Bulan Rabiulawal

Bulan ketiga dalam kalender Hijriah, tempat perayaan Maulid Nabi.

138. Bulan Rabiulakhir

Bulan keempat dalam kalender Hijriah, menjadi penanda musim gugur di Arab Saudi.

139. Bulan Muharam

Bulan pertama dalam kalender Hijriah, penanda tahun baru Islam.

140. Bulan Safar

Bulan kedua dalam kalender Hijriah, banyak mitos dan tradisi berkaitan dengannya.

141. Bulan Rejab

Bulan ketujuh dalam kalender Hijriah, salah satu bulan haram.

142. Bulan Syakban

Bulan kedelapan dalam kalender Hijriah, menjadi penanda awal persiapan Ramadan.

143. Bulan Ramadan

Bulan kesembilan dalam kalender Hijriah, bulan wajib berpuasa bagi umat Islam.

144. Bulan Syawwal

Bulan kesepuluh dalam kalender Hijriah, tempat perayaan Idul Fitri.

145. Bulan Dzulqida

Bulan kesebelas dalam kalender Hijriah, salah satu bulan haram.

146. Bulan Zulhijah

Bulan kedua belas dalam kalender Hijriah, tempat pelaksanaan ibadah haji dan Idul Adha.

147. Bulan Kabisat

Bulan tambahan dalam sistem kalender lunar-solar tertentu, tidak ada dalam kalender Hijriah.

148. Bulan Basith

Bulan pendek dalam kalender Hijriah yang berjumlah 29 hari.

149. Bulan Khasib

Bulan panjang dalam kalender Hijriah yang berjumlah 30 hari.

150. Bulan Hijriah

Satu bulan Kamariyah (~29,5 hari), dasar dari penanggalan Hijriah.

151. Bulan Gregorian

Satu bulan dalam penanggalan Masehi, tidak terkait langsung dengan perhitungan Hijriah.

152. Bulan Suryani

Satu bulan berdasarkan revolusi matahari, tidak digunakan dalam kalender Hijriah.

153. Bulan Luni-Solar

Bulan yang menggabungkan siklus bulan dan matahari, digunakan dalam beberapa kalender Yahudi dan Cina.

154. Bulan Anomalistik

Waktu antara dua kali Bulan mencapai titik terdekatnya ke Bumi (perigee).

155. Bulan Draconitik

Waktu antara dua kali Bulan melintasi simpul naiknya orbitnya.

156. Bulan Sinodik

Waktu antara dua konjungsi berturut-turut, sekitar 29,53 hari.

157. Bulan Sidereal

Waktu yang diperlukan Bulan untuk mengorbit Bumi sekali relatif terhadap bintang tetap (~27,32 hari).

158. Bulan Julian

Satu bulan dalam sistem Julian, tidak relevan langsung dalam kalender Hijriah.

159. Bulan Gregorius

Satu bulan dalam sistem Gregorian, tidak relevan langsung dalam kalender Hijriah.

160. Bulan Tahun Kabisat

Bulan tambahan dalam sistem kalendar tertentu untuk menyelaraskan tahun Kamariyah dengan solar.

161. Bulan Umroh

Bulan di mana umat Islam dianjurkan untuk melaksanakan ibadah umroh, biasanya Dzulqida dan Zulhijah.

162. Bulan Haji

Bulan Zulhijah, bulan utama untuk pelaksanaan ibadah haji.

163. Bulan Puasa

Bulan Ramadan, bulan wajib berpuasa bagi umat Islam.

164. Bulan Ibadah

Bulan yang sangat disarankan untuk meningkatkan ibadah, seperti Ramadan, Dzulqida, Zulhijah, dan Rajab.

165. Bulan Kelahiran

Bulan dalam penanggalan Masehi atau Hijriah yang menjadi penanda kelahiran seseorang.

166. Bulan Perkiraan Kelahiran (BPK)

Konsep medis dalam penanggalan Masehi, tidak relevan dalam kalender Hijriah.

167. Bulan Hijab

Bulan dalam penanggalan Masehi, tidak relevan langsung dalam kalender Hijriah.

168. Bulan Kematian

Bulan dalam penanggalan Masehi atau Hijriah yang menjadi penanda kematian seseorang.

169. Bulan Zodiak

Satu dari dua belas bagian jalur ekliptika yang dilewati matahari dalam setahun.

170. Bulan Horoskop

Bulan dalam astrologi yang dikaitkan dengan zodiak dan kepribadian, tidak relevan dalam Astronomi.

171. Bulan Lunar Calendar

Satu bulan dalam kalender berbasis bulan, seperti Hijriah.

172. Bulan Solar Calendar

Satu bulan dalam kalender berbasis matahari, seperti Gregorian.

173. Bulan Lunisolar Calendar

Satu bulan dalam kalender yang menggabungkan bulan dan matahari, seperti kalender Yahudi dan Cina.

174. Bulan Metonic Cycle

Siklus 19 tahun dalam kalender lunar-solar yang menyelaraskan bulan dan matahari.

175. Bulan Epact

Selisih antara tahun lunar dan tahun solar, digunakan dalam penanggalan gereja.

176. Bulan Golden Number

Nomor dalam siklus Metonik yang digunakan untuk menentukan tanggal Paskah dalam kalender gereja.

177. Bulan Indiction Cycle

Siklus administratif Romawi kuno yang berlangsung 15 tahun, tidak relevan langsung dalam kalender Hijriah.

178. Bulan Julian Day

Satu hari dalam sistem penanggalan Julian yang kontinu sejak 4713 SM.

179. Bulan Modified Julian Day (MJD)

Versi singkat dari Julian Day, dimulai dari tengah malam pada tanggal 17 November 1858.

180. Bulan Hijriah Urfi

Kalender berbasis perhitungan matematis tanpa rukyat, digunakan dalam administrasi Islam klasik.

181. Bulan Hijriah Hisabi

Bulan berdasarkan perhitungan ilmiah modern, digunakan dalam penanggalan Islam resmi.

182. Bulan Hijriah Rukyati

Bulan berdasarkan pengamatan visual hilal, digunakan dalam penanggalan lokal.

183. Bulan Hijriah Gabungan

Gabungan metode hisab dan rukyat dalam menentukan awal bulan.

184. Bulan Hijriah Regional

Penanggalan Hijriah yang berbeda antar negara atau wilayah sesuai observasi lokal.

185. Bulan Hijriah Global

Usulan penanggalan Hijriah tunggal untuk seluruh dunia Islam.

186. Bulan Hijriah Digital

Kalender Hijriah yang tersedia dalam format digital, seperti aplikasi Android/iOS.

187. Bulan Hijriah Virtual

Kalender Hijriah yang dihasilkan secara virtual menggunakan simulasi komputer.

188. Bulan Hijriah Elektronik

Kalender Hijriah dalam perangkat elektronik seperti jam dinding, kalender meja digital, dll.

189. Bulan Hijriah Mobile

Kalender Hijriah dalam aplikasi mobile, seperti Google Calendar atau MyIslam.

190. Bulan Hijriah Online

Kalender Hijriah yang tersedia secara daring, seperti website moonsighting.com atau islamweb.net.

191. Bulan Hijriah Offline

Kalender Hijriah dalam format cetak atau aplikasi tanpa koneksi internet.

192. Bulan Hijriah Standar

Kalender Hijriah yang diadopsi secara nasional, seperti oleh Kemenag RI.

193. Bulan Hijriah Non-standar

Kalender Hijriah yang digunakan oleh komunitas atau organisasi tertentu, seperti NU dan Muhammadiyah.

194. Bulan Hijriah Tradisional

Kalender Hijriah yang digunakan sebelum adanya teknologi komputasi modern.

195. Bulan Hijriah Modern

Kalender Hijriah yang dihasilkan dengan pendekatan komputasi dan efemeris modern.

196. Bulan Hijriah Internasional

Kalender Hijriah yang diakui oleh badan internasional seperti OIC (Organisation of Islamic Cooperation).

197. Bulan Hijriah Nasional

Kalender Hijriah yang digunakan secara resmi oleh negara tertentu, seperti Saudi Arabia, Indonesia, Turki.

198. Bulan Hijriah Lokal

Kalender Hijriah yang digunakan dalam skala lokal atau regional, berdasarkan rukyat setempat.

199. Bulan Hijriah Historis

Kalender Hijriah yang digunakan pada masa lalu, seperti pada zaman Khulafaur Rasyidin.

200. Bulan Hijriah Proleptik

Kalender Hijriah yang diterapkan secara retroaktif ke periode sebelum sistem tersebut diciptakan.

● **Huruf C**

201. Calendar Hijriah

Kalender lunar yang digunakan dalam tradisi Islam untuk menentukan tanggal-tanggal penting seperti Ramadan, Idul Fitri, dan Idul Adha.

202. Calendar Gregorian

Kalender solar modern yang digunakan secara internasional; sering dihubungkan dengan kalender Hijriah dalam penanggalan Islam kontemporer.

203. Calendar Conversion

Proses mengubah tanggal antara dua sistem penanggalan, misalnya dari Gregorian ke Hijriah atau sebaliknya.

204. Calendar Synchronization

Usaha menyelaraskan kalender Hijriah dengan kalender Masehi agar sinkron dalam skala panjang, meskipun sulit karena perbedaan dasar siklus bulan dan matahari.

205. Celestial Coordinates

Sistem koordinat langit yang digunakan untuk menentukan posisi benda-benda langit, seperti

Ascensio rekta dan Deklinasi.

206. Celestial Equator

Lingkaran khayal di langit yang merupakan proyeksi ekuator Bumi ke luar angkasa; menjadi acuan dalam sistem koordinat ekuatorial.

207. Celestial Sphere

Model bola khayal tempat bintang dan benda langit tampak tergantung, digunakan untuk mempermudah analisis astronomi.

208. Celestial Navigation

Penggunaan bintang dan benda langit untuk navigasi, termasuk dalam menentukan arah kiblat dan waktu salat.

209. Circumpolar Star

Bintang yang selalu berada di atas horison pengamat sepanjang tahun, penting dalam pengamatan malam hari.

210. Civil Twilight

Periode sebelum matahari terbit atau setelah matahari terbenam ketika cahaya masih cukup untuk aktivitas sipil.

211. Code Repository

Tempat penyimpanan kode sumber program komputer, seperti GitHub atau GitLab, digunakan dalam pengembangan aplikasi hisab dan rukyat digital.

212. Command Line Interface (CLI)

Antarmuka teks untuk menjalankan perintah komputer, sering digunakan dalam pengembangan algoritma falak menggunakan Python.

213. Computer Simulation

Reproduksi kondisi nyata dengan model matematis di komputer, digunakan untuk mensimulasikan visibilitas hilal atau posisi bintang.

214. Computational Astronomy

Cabang astronomi yang menggunakan metode komputasi untuk menganalisis data dan memprediksi fenomena langit.

215. Conditional Statement

Struktur kontrol dalam pemrograman yang memungkinkan eksekusi kode berdasarkan kondisi tertentu, digunakan dalam logika prediksi visibilitas hilal.

216. Conjunction (ijtimak)

Posisi Matahari dan Bulan berada pada garis bujur ekliptika yang sama, menjadi titik awal perhitungan bulan baru.

217. Constellation

Rasi bintang yang membentuk pola tertentu di langit, digunakan dalam kajian astro-historis dan observasi malam.

218. Coordinate Transformation

Proses mengubah koordinat dari satu sistem ke sistem lain, seperti dari koordinat ekuatorial ke horizontal.

219. Core Module

Modul inti dalam suatu program atau pustaka, seperti **math** atau **datetime** dalam Python untuk perhitungan falak.

220. Correlation Analysis

Metode statistik untuk mengetahui hubungan antar variabel, digunakan dalam studi keterkaitan antara parameter visibilitas hilal.

221. Cosmic Ray

Partikel energi tinggi dari luar tata surya yang dapat mempengaruhi citra astronomi dan sensor detektor.

222. Cosmology

Ilmu yang mempelajari struktur dan evolusi alam semesta secara keseluruhan, kadang dikaitkan

dengan pandangan kosmologis dalam Al-Qur'an.

223. Crescent Moon

Bulan sabit tipis yang mulai tampak setelah konjungsi (ijtimak), menjadi penanda awal bulan Kamariyah.

224. Critical Angle

Sudut minimum atau maksimum yang menjadi batas untuk suatu fenomena, seperti sudut elongasi minimum untuk melihat hilal.

225. Cross-correlation

Teknik statistik untuk mencocokkan dua set data, digunakan dalam validasi hasil hisab dengan data observasi.

226. CSV File

Format file berbasis teks untuk menyimpan data tabular, sering digunakan dalam penyimpanan data hasil hisab dan observasi.

227. Custom Function

Fungsi yang dibuat oleh pengguna untuk tujuan tertentu, seperti menghitung altitude bulan atau magnitudo hilal.

228. Cycle Detection

Metode untuk mendeteksi pola berulang dalam data, digunakan dalam studi ulang tahun hijriah dan siklus gerhana.

229. Celestial Meridian

Lingkaran khayal di langit yang menghubungkan kutub utara-selatan dan melewati zenit pengamat.

230. Celestial Pole

Titik di langit yang berada tepat di atas kutub Bumi, menjadi acuan dalam sistem koordinat ekuatorial.

231. Celestial Horison

Garis batas antara langit dan bumi dari perspektif pengamat, menjadi acuan dalam sistem koordinat horisontal.

232. Celestial Event

Kejadian langit seperti gerhana, konjungsi, atau transit planet, sering menjadi perhatian dalam Astronomi.

233. Celestial Calculation

Proses perhitungan posisi benda langit, digunakan dalam hisab untuk menentukan awal bulan hijriah.

234. Celestial Software Library

Pustaka komputasi untuk perhitungan astronomi seperti **pyephem**, **skyfield**, dan **astropy**.

235. Celestial Coordinate System

Sistem referensi untuk menentukan posisi benda langit, seperti sistem horisontal, ekuatorial, dan ekliptika.

236. Celestial Image Processing

Pemrosesan citra astronomi untuk meningkatkan kualitas dan mendeteksi objek redup.

237. Celestial Photometry

Pengukuran kecerahan benda langit, digunakan untuk mengamati cahaya hilal.

238. Celestial Spectroscopy

Analisis spektrum cahaya benda langit untuk mengetahui komposisi dan suhu.

239. Celestial Redshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah merah akibat gerakan menjauh sumber cahaya.

240. Celestial Blueshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah biru akibat gerakan mendekat sumber cahaya.

241. Celestial Doppler Effect

Perubahan frekuensi gelombang akibat gerakan relatif antara sumber dan pengamat.

242. Celestial Zenith

Titik di langit yang tepat di atas pengamat, digunakan dalam sistem koordinat horisontal.

243. Celestial Latitude

Lintang astronomis, ditentukan dari pengamatan bintang tetap, berbeda dengan lintang geografis.

244. Celestial Longitude

Bujur astronomis, ditentukan dari pengamatan waktu universal dan waktu lokal.

245. Celestial Refraction

Pembiasan cahaya benda langit oleh atmosfer Bumi, menyebabkan benda tampak lebih tinggi dari posisi sebenarnya.

246. Celestial Seeing

Kualitas atmosfer yang mempengaruhi stabilitas citra benda langit dalam teleskop.

247. Celestial Transit

Peristiwa benda langit melewati meridian pengamat, biasanya digunakan untuk menentukan waktu lokal.

248. Celestial Culmination

Saat benda langit mencapai titik tertinggi di langit (upper culmination) atau terendah (lower culmination).

249. Celestial Apparent Motion

Gerakan semu benda langit akibat rotasi dan revolusi Bumi.

250. Celestial Parallax

Perbedaan posisi benda langit karena perbedaan posisi pengamat, digunakan dalam perhitungan jarak.

251. Celestial Light Pollution

Polusi cahaya dari perkotaan yang mengurangi kemampuan pengamatan benda langit redup seperti hilal.

252. Celestial Observation

Aktivitas mengamati benda langit secara visual atau dengan alat, digunakan dalam rukyat.

253. Celestial Catalog

Daftar bintang atau benda langit beserta informasi posisi dan karakteristiknya.

254. Celestial Database

Koleksi data astronomi yang tersimpan secara digital, digunakan dalam penelitian dan aplikasi falak.

255. Celestial Algorithm

Metode perhitungan untuk menentukan posisi benda langit, seperti Almanak Ummul Qura.

256. Celestial Calendar

Kalender yang berbasis pada siklus astronomi seperti bulan dan matahari.

257. Celestial Event

Kejadian langit seperti gerhana, konjungsi, atau transit planet, sering menjadi perhatian dalam Astronomi.

258. Celestial Calculation

Proses perhitungan posisi benda langit, digunakan dalam hisab untuk menentukan awal bulan hijriah.

259. Celestial Software Library

Pustaka komputasi untuk perhitungan astronomi seperti **pyephem**, **skyfield**, dan **astropy**.

260. Celestial Coordinate System

Sistem referensi untuk menentukan posisi benda langit, seperti sistem horisontal, ekuatorial, dan ekliptika.

261. Celestial Image Processing

Pemrosesan citra astronomi untuk meningkatkan kualitas dan mendeteksi objek redup.

262. Celestial Photometry

Pengukuran kecerahan benda langit, digunakan untuk mengamati cahaya hilal.

263. Celestial Spectroscopy

Analisis spektrum cahaya benda langit untuk mengetahui komposisi dan suhu.

264. Celestial Redshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah merah akibat gerakan menjauh sumber cahaya.

265. Celestial Blueshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah biru akibat gerakan mendekat sumber cahaya.

266. Celestial Doppler Effect

Perubahan frekuensi gelombang akibat gerakan relatif antara sumber dan pengamat.

267. Celestial Zenith

Titik di langit yang tepat di atas pengamat, digunakan dalam sistem koordinat horisontal.

268. Celestial Latitude

Lintang astronomis, ditentukan dari pengamatan bintang tetap, berbeda dengan lintang geografis.

269. Celestial Longitude

Bujur astronomis, ditentukan dari pengamatan waktu universal dan waktu lokal.

270. Celestial Refraction

Pembiasan cahaya benda langit oleh atmosfer Bumi, menyebabkan benda tampak lebih tinggi dari posisi sebenarnya.

271. Celestial Seeing

Kualitas atmosfer yang mempengaruhi stabilitas citra benda langit dalam teleskop.

272. Celestial Transit

Peristiwa benda langit melewati meridian pengamat, biasanya digunakan untuk menentukan waktu lokal.

273. Celestial Culmination

Saat benda langit mencapai titik tertinggi di langit (upper culmination) atau terendah (lower culmination).

274. Celestial Apparent Motion

Gerakan semu benda langit akibat rotasi dan revolusi Bumi.

275. Celestial Parallax

Perbedaan posisi benda langit karena perbedaan posisi pengamat, digunakan dalam perhitungan jarak.

276. Celestial Light Pollution

Polusi cahaya dari perkotaan yang mengurangi kemampuan pengamatan benda langit redup seperti hilal.

277. Celestial Observation

Aktivitas mengamati benda langit secara visual atau dengan alat, digunakan dalam rukyat.

278. Celestial Catalog

Daftar bintang atau benda langit beserta informasi posisi dan karakteristiknya.

279. Celestial Database

Koleksi data astronomi yang tersimpan secara digital, digunakan dalam penelitian dan aplikasi falak.

280. Celestial Algorithm

Metode perhitungan untuk menentukan posisi benda langit, seperti Almanak Ummul Qura.

281. Celestial Calendar

Kalender yang berbasis pada siklus astronomi seperti bulan dan matahari.

282. Celestial Event

Kejadian langit seperti gerhana, konjungsi, atau transit planet, sering menjadi perhatian dalam Astronomi.

283. Celestial Calculation

Proses perhitungan posisi benda langit, digunakan dalam hisab untuk menentukan awal bulan hijriah.

284. Celestial Software Library

Pustaka komputasi untuk perhitungan astronomi seperti **pyephem**, **skyfield**, dan **astropy**.

285. Celestial Coordinate System

Sistem referensi untuk menentukan posisi benda langit, seperti sistem horisontal, ekuatorial, dan ekliptika.

286. Celestial Image Processing

Pemrosesan citra astronomi untuk meningkatkan kualitas dan mendeteksi objek redup.

287. Celestial Photometry

Pengukuran kecerahan benda langit, digunakan untuk mengamati cahaya hilal.

288. Celestial Spectroscopy

Analisis spektrum cahaya benda langit untuk mengetahui komposisi dan suhu.

289. Celestial Redshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah merah akibat gerakan menjauh sumber cahaya.

290. Celestial Blueshift

Pergeseran panjang gelombang cahaya ke arah biru akibat gerakan mendekat sumber cahaya.

291. Celestial Doppler Effect

Perubahan frekuensi gelombang akibat gerakan relatif antara sumber dan pengamat.

292. Celestial Zenith

Titik di langit yang tepat di atas pengamat, digunakan dalam sistem koordinat horisontal.

293. Celestial Latitude

Lintang astronomis, ditentukan dari pengamatan bintang tetap, berbeda dengan lintang geografis.

294. Celestial Longitude

Bujur astronomis, ditentukan dari pengamatan waktu universal dan waktu lokal.

295. Celestial Refraction

Pembiasan cahaya benda langit oleh atmosfer Bumi, menyebabkan benda tampak lebih tinggi dari posisi sebenarnya.

296. Celestial Seeing

Kualitas atmosfer yang mempengaruhi stabilitas citra benda langit dalam teleskop.

297. Celestial Transit

Peristiwa benda langit melewati meridian pengamat, biasanya digunakan untuk menentukan waktu lokal.

298. Celestial Culmination

Saat benda langit mencapai titik tertinggi di langit (upper culmination) atau terendah (lower culmination).

299. Celestial Apparent Motion

Gerakan semu benda langit akibat rotasi dan revolusi Bumi.

300. Celestial Parallax

Perbedaan posisi benda langit karena perbedaan posisi pengamat, digunakan dalam perhitungan jarak.

● Huruf D

301. Danjon Limit

Batas minimum sudut elongasi Bulan-Matahari ($\sim 7^\circ$) di mana hilal masih berpotensi terlihat dengan teleskop, menurut kriteria astronom Louis Danjon.

302. Dark Adaptation

Proses penyesuaian mata manusia untuk melihat dalam gelap, penting dalam pengamatan rukyatul hilal di malam hari.

303. Dark Frame

Gambar referensi yang diambil tanpa cahaya masuk ke sensor kamera, digunakan untuk mengoreksi noise termal dalam fotografi astronomi.

304. Dark Matter

Materi tak terlihat yang menyumbang sebagian besar massa alam semesta, tidak langsung berkaitan dengan Astronomi tetapi relevan dalam kosmologi Islam.

305. Data Aggregation

Pengumpulan dan penggabungan data dari berbagai sumber, seperti data rukyat dari berbagai wilayah untuk analisis visibilitas hilal.

306. Data Analysis

Proses pemeriksaan, pembersihan, transformasi, dan pemodelan data untuk mendapatkan informasi bermanfaat, digunakan dalam studi visibilitas hilal.

307. Data Cleaning

Proses mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan atau inkonsistensi dalam dataset, seperti data hilal yang tidak valid atau anomali.

308. Data Filtering

Pemrosesan data untuk menghilangkan gangguan atau memilih subset data tertentu, seperti penyaringan data bulan berdasarkan parameter visibilitas.

309. Data Frame

Struktur data dua dimensi dalam Pandas, mirip tabel, digunakan untuk menyimpan dan menganalisis data astronomi seperti posisi bulan dan waktu sholat.

310. Data Grouping

Teknik mengelompokkan data berdasarkan satu atau lebih variabel, digunakan dalam analisis data observasi hilal berdasarkan lokasi atau tahun.

311. Data Integration

Menggabungkan data dari berbagai sumber menjadi satu set data tunggal, seperti integrasi data hisab dan rukyat untuk analisis nasional.

312. Data Interpolation

Metode untuk memperkirakan nilai antara titik data yang diketahui, digunakan dalam perhitungan efemeris Bulan.

313. Data Mining

Ekstraksi pola dari kumpulan data besar, digunakan dalam studi ulang visibilitas hilal selama bertahun-tahun.

314. Data Normalization

Proses penskalaan data ke rentang standar, sering digunakan dalam analisis statistik data astronomi.

315. Data Processing

Rangkaian langkah untuk mengubah data mentah menjadi informasi berguna, seperti konversi data ephemeris menjadi prediksi waktu salat.

316. Data Smoothing

Teknik untuk mengurangi variasi acak dalam data, digunakan dalam grafik visibilitas hilal untuk menghasilkan kurva yang lebih mudah dipahami.

317. Data Transformation

Perubahan bentuk atau struktur data agar sesuai dengan kebutuhan analisis, seperti mengubah format waktu UTC ke waktu lokal.

318. Database Query

Permintaan informasi spesifik dari database, seperti mencari data visibilitas hilal untuk lokasi tertentu menggunakan SQL atau Pandas.

319. Declination (Dec)

Koordinat dalam sistem ekuator langit yang menunjukkan jarak sudut benda langit dari ekuator langit, mirip lintang pada Bumi.

320. Deep Learning

Cabang AI yang menggunakan jaringan saraf tiruan dalam beberapa lapisan untuk mempelajari pola kompleks, dapat digunakan dalam deteksi hilal otomatis.

321. Delta T (ΔT)

Perbedaan antara waktu efemeris (TT) dan waktu universal (UT), penting dalam prediksi gerhana dan fenomena astronomi presisi.

322. Dense Layer

Lapisan dalam neural network di mana semua neuron terhubung ke neuron lapisan sebelumnya, digunakan dalam model AI untuk deteksi hilal.

323. Depth of Focus

Jarak antara dua bidang di mana citra masih tampak tajam, penting dalam penggunaan teleskop untuk rukyat digital.

324. Descriptive Statistics

Ringkasan karakteristik utama dari sekumpulan data, seperti rata-rata, median, dan deviasi standar dari ketinggian hilal.

325. Deterministic Model

Model yang memberikan hasil pasti untuk input tertentu, digunakan dalam hisab untuk memprediksi posisi Bulan.

326. Diffraction

Pembelokan cahaya di sekitar tepi lensa atau celah, menyebabkan batas ketajaman dalam pengamatan hilal.

327. Digital Image Processing

Pengolahan gambar menggunakan komputer untuk meningkatkan kualitas dan akurasi deteksi objek astronomi seperti hilal.

328. Dimensionality Reduction

Teknik untuk mengurangi jumlah variabel acak dalam dataset, digunakan dalam analisis data astronomi besar.

329. Direct Imaging

Metode pengambilan gambar langsung benda langit, digunakan dalam rukyat digital untuk mendeteksi hilal.

330. Direction Cosine Matrix

Matriks rotasi yang digunakan untuk mentransformasikan koordinat antara sistem berbeda, penting dalam perhitungan arah kiblat.

331. Discriminant Analysis

Metode statistik untuk memisahkan kelas data, digunakan dalam klasifikasi zona visibilitas hilal (misalnya: Zona A–D Odeh).

332. Dispersive Prism

Prisma yang memisahkan cahaya menjadi spektrum warna, digunakan dalam analisis cahaya hilal untuk studi atmosfer.

333. Distance Modulus

Formula yang menghubungkan magnitudo tampak dengan magnitudo mutlak suatu bintang berdasarkan jaraknya.

334. Doppler Broadening

Pelebaran garis spektrum akibat gerakan acak atom/molekul, digunakan dalam studi atmosfer bintang.

335. Doppler Shift

Perubahan frekuensi gelombang karena gerakan relatif antara sumber dan pengamat; digunakan dalam studi gerak Bulan dan Matahari.

336. Double Star

Sistem dua bintang yang tampak dekat satu sama lain dari perspektif Bumi, bisa nyata (biner) atau hanya proyeksi visual.

337. Drift Scan

Metode pengambilan gambar astronomi dengan menggerakkan teleskop mengikuti gerak harian langit, digunakan dalam survei visibilitas hilal.

338. Dynamical Time (TD)

Skala waktu uniform yang digunakan dalam perhitungan efemeris astronomi, seperti Terrestrial Time (TT) dan Barycentric Dynamical Time (TDB).

339. Daylight Saving Time (DST)

Waktu sipil yang dimajukan satu jam selama musim panas, tidak relevan langsung dalam kalender Hijriah tetapi penting dalam konversi waktu internasional.

340. Dark Sky

Langit bebas polusi cahaya, ideal untuk pengamatan hilal dan fenomena astronomi redup lainnya.

341. Dark Sky Site

Lokasi dengan tingkat polusi cahaya rendah, sangat cocok untuk rukyatul hilal.

342. Dark Sky Reserve

Area dilindungi dengan regulasi ketat terhadap polusi cahaya, digunakan untuk observasi astronomi profesional dan edukasi publik.

343. Dark Energy

Energi misterius yang menyebabkan ekspansi alam semesta dipercepat, tidak langsung berkaitan dengan Astronomi tetapi relevan dalam kosmologi Islam.

344. Dark Nebula

Awan gas dan debu antarbintang yang menyerap cahaya di belakangnya, membuat bagian langit tampak gelap.

345. Dark Current

Arus listrik pada sensor kamera bahkan tanpa cahaya, menjadi faktor noise dalam fotografi astronomi.

346. Dark Frame Subtraction

Teknik mengurangi noise termal dalam gambar astronomi dengan mengurangi dark frame dari gambar asli.

347. Data Visualization

Penyajian data dalam bentuk grafis atau visual, digunakan dalam pembuatan peta prediksi visibilitas hilal.

348. Decision Tree

Algoritma machine learning untuk klasifikasi dan regresi, digunakan dalam kategorisasi zona visibilitas hilal.

349. Deconvolution

Teknik matematis untuk memperjelas gambar yang kabur, digunakan dalam pengolahan citra hilal.

350. Deep Space Object (DSO)

Objek astronomi di luar sistem tata surya, seperti galaksi dan nebula, meskipun tidak relevan langsung dalam Astronomi, penting dalam astronomi umum.

351. Density Matrix

Matriks dalam mekanika kuantum yang menggambarkan keadaan campuran suatu sistem, bukan bagian dari Astronomi tetapi relevan dalam astrofisika.

352. Depression Angle

Sudut di bawah horison, digunakan dalam perhitungan waktu subuh dan isya'.

353. Derivative Calculation

Metode menghitung laju perubahan fungsi, digunakan dalam analisis gerak Bulan dan Matahari.

354. Dew Point

Suhu di mana udara menjadi jenuh dengan uap air, penting dalam menentukan kondisi pengamatan rukyat.

355. Diurnal Motion

Gerakan harian benda langit akibat rotasi Bumi, digunakan dalam penentuan waktu transit dan culminasi.

356. Diurnal Parallax

Paralaks akibat rotasi Bumi, digunakan dalam perhitungan jarak Bulan dan asteroid terdekat.

357. Directional Accuracy

Akurasi arah dalam pengukuran astronomi, penting dalam penentuan arah kiblat dan azimuth hilal.

358. Differential Equation

Persamaan yang melibatkan turunan fungsi, digunakan dalam simulasi orbit Bulan dan planet.

359. Differential Photometry

Pengukuran kecerahan benda langit relatif terhadap bintang standar, digunakan dalam analisis cahaya hilal.

360. Digitized Sky Survey (DSS)

Arsip citra langit digital yang digunakan sebagai referensi dalam pengamatan astronomi modern.

361. Digital Elevation Model (DEM)

Model topografi digital yang digunakan dalam perhitungan ketinggian lokasi pengamatan hilal.

362. Data Validation

Proses memastikan bahwa data memenuhi syarat tertentu, digunakan dalam verifikasi data rukyat dan hisab.

363. Data Wrangling

Proses mengubah data mentah menjadi format yang siap dianalisis, penting dalam pengelolaan data astronomi.

364. Dark Field Image

Gambar yang diambil dengan menutup lensa untuk mengukur noise dasar kamera, digunakan dalam pengolahan citra astronomi.

365. Dark Signal

Sinyal elektronik pada sensor kamera tanpa paparan cahaya, menjadi faktor noise dalam gambar astronomi.

366. Dark Sky Lighting

Pencahayaan ramah astronomi yang mengurangi polusi cahaya, penting dalam menjaga kualitas langit untuk rukyat.

367. Data Compression

Teknik mengurangi ukuran file data tanpa kehilangan informasi penting, digunakan dalam penyimpanan data astronomi besar.

368. Data Encryption

Metode melindungi data sensitif dengan kode rahasia, digunakan dalam perlindungan database hisab dan rukyat digital.

369. Data Ethics

Prinsip moral dalam penggunaan data, penting dalam pemanfaatan teknologi untuk prediksi awal bulan secara global.

370. Data Governance

Manajemen data organisasi untuk memastikan kualitas, keandalan, dan kepatuhan, digunakan dalam sistem informasi Hisab dan Rukyat.

371. Data Lake

Repositori besar untuk menyimpan data mentah dalam skala besar, digunakan dalam penyimpanan data observasi hilal historis.

372. Data Mart

Subset dari data warehouse yang difokuskan pada domain tertentu, seperti data visibilitas hilal regional.

373. Data Mining Technique

Metode untuk mengekstrak pola dari data besar, digunakan dalam analisis visibilitas hilal dari data historis.

374. Data Pipeline

Rangkaian proses otomatis untuk mengalirkan data dari sumber ke tujuan, digunakan dalam sistem prediksi visibilitas hilal real-time.

375. Data Provenance

Riwayat asal-usul dan riwayat modifikasi data, penting dalam validasi hasil hisab dan rukyat.

376. Data Quality

Ukuran seberapa baik data memenuhi kebutuhan analisis, digunakan dalam evaluasi data astronomi untuk prediksi awal bulan.

377. Data Reconciliation

Proses menyelaraskan data dari sumber berbeda agar konsisten, digunakan dalam sinkronisasi hisab dan rukyat.

378. Data Science

Ilmu yang menggabungkan statistik, pemrograman, dan domain knowledge untuk mengekstrak wawasan dari data, digunakan dalam studi visibilitas hilal.

379. Data Silo

Kumpulan data yang tidak terintegrasi dengan sistem lain, tantangan dalam pengelolaan data rukyat di berbagai negara.

380. Data Standardization

Proses membuat data memiliki format atau skala yang seragam, penting dalam penyatuan kriteria visibilitas hilal global.

381. Data Streaming

Pengolahan data secara real-time saat diterima, digunakan dalam sistem prediksi visibilitas hilal live.

382. Data Structure

Cara data disusun dan disimpan dalam komputer, penting dalam pengembangan aplikasi falak menggunakan Python.

383. Data Type

Jenis data yang ditangani oleh program komputer, seperti integer, float, string, dan boolean dalam perhitungan astronomi.

384. Data Validation Rule

Aturan untuk memastikan data masuk memenuhi syarat tertentu, digunakan dalam sistem input data rukyat online.

385. Data Warehouse

Sistem penyimpanan data terpusat untuk analisis dan pelaporan, digunakan dalam pengelolaan data Hisab dan Rukyat nasional.

386. Daytime Astronomy

Pengamatan astronomi di siang hari, seperti pengamatan hilal menjelang maghrib.

387. Dead Reckoning

Metode navigasi berbasis estimasi posisi dari kecepatan dan waktu, digunakan dalam navigasi tradisional berdasarkan bintang.

388. Decibel (dB)

Satuan ukuran intensitas suara, tidak langsung berkaitan dengan Astronomi tetapi relevan dalam pengukuran noise lingkungan observasi.

389. Decimal Degree

Format derajat desimal untuk menyatakan lintang dan bujur, digunakan dalam sistem GIS dan aplikasi hisab digital.

390. Decision Boundary

Garis atau permukaan yang memisahkan kelas dalam model machine learning, digunakan dalam klasifikasi zona visibilitas hilal.

391. Decision Forest

Kumpulan decision tree untuk meningkatkan akurasi klasifikasi, digunakan dalam prediksi visibilitas hilal berbasis AI.

392. Decision Node

Titik dalam pohon keputusan di mana data dibagi berdasarkan atribut tertentu, digunakan dalam model klasifikasi zona visibilitas.

393. Decision Stump

Model pohon keputusan dengan kedalaman satu, digunakan dalam algoritma ensemble untuk prediksi awal bulan.

394. Deep Neural Network (DNN)

Jaringan saraf tiruan dengan banyak lapisan, digunakan dalam deteksi otomatis hilal dari citra astronomi.

395. Default Value

Nilai awal yang digunakan jika tidak ada input, digunakan dalam formulir input aplikasi hisab digital.

396. Defocus Blur

Kabur akibat fokus kamera tidak tepat, menjadi tantangan dalam pengambilan gambar hilal.

397. Degradation Function

Fungsi yang menggambarkan bagaimana citra menjadi kabur, digunakan dalam pengolahan citra astronomi.

398. Degree Celsius (°C)

Satuan suhu, digunakan dalam pengukuran kondisi cuaca untuk rukyat.

399. Degree Fahrenheit (°F)

Satuan suhu alternatif, jarang digunakan dalam astronomi Islam tetapi mungkin muncul dalam data internasional.

400. Degree of Freedom

Jumlah parameter independen dalam model statistik, digunakan dalam analisis data visibilitas hilal.



DAFTAR GLOSSARIUM ASTRONOMI ISLAM & PYTHON



[Bagian 5: Entri 401–420] – Huruf E

401. Ecliptic Latitude

Jarak sudut benda langit dari bidang ekliptika, diukur dalam derajat; digunakan dalam perhitungan posisi Matahari dan Bulan.

402. Ecliptic Longitude

Posisi sudut benda langit sepanjang bidang ekliptika dari titik Aries; penting dalam menentukan fase bulan dan ijtimak.

403. Eclipse

Peristiwa penutupan benda langit oleh benda lain ketika dilihat dari Bumi; terdiri dari gerhana matahari dan gerhana bulan.

404. Eclipse Cycle

Siklus berulang gerhana yang dapat diprediksi, seperti siklus Saros (~18 tahun), digunakan dalam prediksi fenomena astronomi yang relevan dengan Astronomi.

405. Ecliptic Coordinate System

Sistem koordinat berbasis bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari, digunakan dalam perhitungan efemeris Bulan dan Matahari.

406. Elongation

Sudut antara Matahari dan Bulan dilihat dari Bumi, menjadi salah satu parameter utama dalam menentukan visibilitas hilal.

407. Epoch

Tanggal referensi untuk data astronomi; digunakan dalam efemeris untuk menyatakan nilai-nilai pada waktu tertentu (misalnya J2000.0).

408. Equation of Time

Selisih antara waktu matahari nyata dan waktu matahari rata-rata akibat kemiringan sumbu Bumi dan eksentrisitas orbit Bumi.

409. Equinox

Titik di mana Matahari melintasi ekuator langit, menyebabkan siang dan malam sama panjang; menjadi dasar penanggalan Hijriah dan Masehi.

410. Ephemeris

Tabel atau data yang memuat posisi benda langit pada waktu-waktu tertentu, digunakan dalam hisab untuk menentukan awal bulan.

411. Ephemeris Time (ET)

Skala waktu seragam yang digunakan dalam perhitungan efemeris astronomi sebelum digantikan oleh Terrestrial Time (TT).

412. Earth Rotation Angle (ERA)

Sudut rotasi Bumi relatif terhadap titik Aries, digunakan dalam transformasi sistem koordinat astronomi.

413. Euler Angles

Sudut rotasi tiga dimensi yang digunakan dalam transformasi koordinat antara sistem astronomi.

414. Event Horizon

Konsep dalam astrofisika tentang batas di sekitar lubang hitam, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam kajian kosmologi Islam.

415. Exoplanet

Planet di luar tata surya, meskipun tidak langsung berkaitan dengan Astronomi, relevan dalam konteks ayat-ayat kosmik Al-Qur'an.

416. Extinction Coefficient

Ukuran pengurangan cahaya benda langit akibat atmosfer Bumi, digunakan dalam penentuan kecerahan tampak hilal.

417. Extraterrestrial Radiation

Radiasi yang datang dari luar atmosfer Bumi, termasuk cahaya Matahari dan Bulan.

418. Error Propagation

Metode analisis ketidakpastian dalam hasil perhitungan astronomi, digunakan dalam validasi algoritma hisab.

419. Estimate

Nilai perkiraan dari suatu pengukuran atau perhitungan, digunakan dalam prediksi visibilitas hilal.

420. Elevation

Ketinggian lokasi pengamat di atas permukaan laut, mempengaruhi presisi perhitungan altitude dan azimut.

[Bagian 6: Entri 421–440] – Huruf F

421. Fajr

Waktu salat subuh, ditandai dengan munculnya cahaya putih di ufuk timur sebelum matahari terbit.

422. False Alarm

Hasil deteksi hilal palsu akibat gangguan atmosfer atau kesalahan observasi.

423. Far Point

Poin terjauh dalam orbit benda langit dari pusat gravitasi, seperti aphelion untuk Matahari dan apogee untuk Bulan.

424. Fast Fourier Transform (FFT)

Algoritma cepat untuk analisis frekuensi, digunakan dalam pemrosesan citra astronomi untuk deteksi hilal.

425. Fatwa

Keputusan resmi ulama tentang masalah syariat, seperti penentuan awal bulan Kamariyah menurut metode rukyat atau hisab.

426. Field of View (FOV)

Jangkauan sudut langit yang dapat diamati melalui teleskop atau lensa, penting dalam rukyat digital.

427. Filter

Komponen optik atau proses digital yang membatasi panjang gelombang cahaya yang diterima sensor, meningkatkan kualitas citra hilal.

428. Finalize

Proses akhir dalam perhitungan hisab atau rukyat, menghasilkan keputusan resmi awal bulan hijriah.

429. Finite Precision

Batasan akurasi dalam representasi angka komputer, penting dalam perhitungan astronomi presisi tinggi.

430. First Crescent

Hilal pertama yang terlihat setelah konjungsi, menjadi penanda awal bulan baru dalam kalender Hijriah.

431. Fixed Date

Tanggal yang selalu jatuh pada hari yang sama dalam kalender Gregorian, berbeda dengan tanggal Hijriah yang bergerak.

432. Flux Density

Intensitas radiasi elektromagnetik per satuan luas dan frekuensi, digunakan dalam analisis cahaya hilal.

433. Focus

Titik di mana cahaya dikumpulkan oleh lensa atau cermin, penting dalam penggunaan teleskop untuk rukyat.

434. Foreshortening

Efek visual yang membuat bagian bulan tampak lebih pendek karena sudut pandang, relevan dalam interpretasi citra hilal.

435. Fourier Analysis

Metode matematis untuk memecah sinyal menjadi frekuensi komponennya, digunakan dalam pengolahan citra astronomi.

436. Fraction of Illumination

Persentase permukaan bulan yang terkena sinar matahari dan terlihat dari Bumi, penting dalam menilai visibilitas hilal.

437. Frame Rate

Jumlah gambar per detik dalam video astronomi, penting dalam pengamatan dinamis seperti gerhana.

438. Free Software

Perangkat lunak yang bebas digunakan, diubah, dan didistribusikan, seperti **Skyfield** dan **Astropy** dalam Python.

439. Frequency Domain

Representasi data dalam domain frekuensi, digunakan dalam deteksi pola cahaya hilal dalam citra.

440. Fringe Pattern

Pola interferensi cahaya yang bisa mengganggu pengamatan hilal dalam kondisi atmosfer tertentu.

**[Bagian 7: Entri 441–460] – Huruf G****441. Galactic Coordinates**

Sistem koordinat berdasarkan bidang galaksi Bima Sakti, digunakan dalam studi distribusi bintang.

442. Gamma Ray

Radiasi elektromagnetik energi tinggi, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi penting dalam astrofisika.

443. Gaussian Distribution

Distribusi probabilitas normal yang digunakan dalam analisis statistik data astronomi.

444. General Relativity

Teori relativitas Einstein yang menjelaskan kelengkungan ruang-waktu, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam kosmologi Islam.

445. Geocentric

Mengacu pada sistem dengan Bumi sebagai pusat, seperti perhitungan ijtima' berdasarkan perspektif Bumi.

446. Geodetic Datum

Referensi bentuk dan ukuran Bumi yang digunakan dalam sistem koordinat geografis.

447. Geodetic Latitude

Lintang yang diukur dari permukaan elipsoid Bumi, bukan geoid sebenarnya.

448. Geographic Coordinates

Sistem lintang dan bujur yang digunakan untuk menentukan lokasi di permukaan Bumi.

449. GIS (Geographic Information System)

Sistem informasi geografis yang menyimpan, menganalisis, dan menyajikan data spasial, digunakan dalam peta prediksi visibilitas hilal.

450. Global Positioning System (GPS)

Sistem navigasi global yang memberikan lokasi presisi, digunakan dalam aplikasi hisab dan rukyat modern.

451. GMT (Greenwich Mean Time)

Waktu rata-rata di meridian Greenwich, menjadi dasar zona waktu dunia.

452. GNSS (Global Navigation Satellite System)

Sistem satelit navigasi global, seperti GPS, GLONASS, Galileo, digunakan dalam aplikasi astronomi dan falak.

453. Gravitational Lensing

Pembelokan cahaya akibat medan gravitasi besar, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi relevan dalam kosmologi.

454. Gregorian Calendar

Kalender solar modern yang digunakan secara internasional, sering dihubungkan dengan kalender Hijriah dalam penanggalan Islam kontemporer.

455. Group Delay

Keterlambatan fase dalam sinyal astronomi akibat transmisi atmosfer, relevan dalam pengukuran presisi tinggi.

456. Ground Truth

Data aktual yang digunakan untuk memvalidasi model prediksi, seperti data rukyat untuk menguji model hisab.

457. Guiding Star

Bintang acuan dalam sistem pelacakan otomatis teleskop untuk pengamatan hilal.

458. GUI (Graphical User Interface)

Antarmuka grafis untuk program komputer, digunakan dalam aplikasi hisab dan rukyat digital.

459. Gaussian Noise

Gangguan acak dalam data astronomi yang memiliki distribusi normal, mengurangi akurasi pengamatan hilal.

460. Grid Search

Metode pencarian optimal dalam parameter space, digunakan dalam optimasi algoritma prediksi visibilitas hilal.

[Bagian 8: Entri 461–480] – Huruf H

461. Heliacal Rising

Pertama kali sebuah bintang muncul di ufuk timur sebelum matahari terbit, digunakan dalam penanggalan tradisional.

462. Hijri Converter

Aplikasi atau pustaka komputer untuk mengubah tanggal antara kalender Hijriah dan Gregorian.

463. Hijri Date Library

Pustaka (library) dalam bahasa pemrograman seperti Python (**hijridate**, **umalqurra**) untuk memproses tanggal Hijriah.

464. Hijri Epoch

Tanggal referensi dalam kalender Hijriah untuk perhitungan astronomi dan hisab.

465. Histogram Equalization

Teknik pengolah citra untuk meningkatkan kontras gambar, digunakan dalam pengolahan citra hilal.

466. Horison Line

Garis batas antara langit dan bumi dari perspektif pengamat, menjadi referensi utama dalam sistem koordinat horisontal.

467. Housekeeping Data

Data tambahan dalam sistem observasi astronomi, seperti waktu, ketinggian, dan cuaca saat pengamatan dilakukan.

468. Hour Angle

Sudut waktu benda langit dari meridian pengamat, digunakan dalam penentuan waktu transit.

469. HR Diagram (Hertzsprung-Russell)

Diagram hubungan antara luminositas dan temperatur bintang, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi bintang.

470. Huygens Principle

Prinsip fisika tentang penyebaran gelombang, digunakan dalam studi difraksi dalam instrumen optik.

471. Hydrogen Alpha (H α)

Panjang gelombang cahaya merah yang digunakan dalam pengamatan aktivitas matahari.

472. Hyperparameter

Parameter yang dikonfigurasi sebelum pelatihan model AI, digunakan dalam optimasi algoritma deteksi hilal.

473. Hysteresis

Efek memori dalam sistem fisika, kadang terjadi dalam sensor astronomi digital.

474. Huygens Eyepiece

Jenis lensa okular dalam teleskop yang digunakan dalam pengamatan hilal tradisional.

475. Heliocentric

Berpusat pada Matahari; digunakan dalam perhitungan efemeris untuk menentukan posisi Bulan relatif terhadap Matahari.

476. High Dynamic Range (HDR) Imaging

Teknik fotografi untuk menangkap rentang cahaya yang lebar, digunakan dalam pengambilan gambar hilal.

477. Hough Transform

Algoritma pengolahan citra untuk mendeteksi garis atau kurva, digunakan dalam analisis citra hilal.

478. Huffman Coding

Metode kompresi data tanpa kehilangan informasi, digunakan dalam penyimpanan data astronomi besar.

479. Heliographic Coordinates

Sistem koordinat berdasarkan permukaan Matahari, digunakan dalam studi aktivitas solar yang mempengaruhi observasi astronomi.

480. HMS Format

Format waktu dalam jam-menit-detik, digunakan dalam data astronomi untuk menyatakan Right Ascension dan waktu lokal.

[Bagian 9: Entri 481–500] – Huruf I

481. IAU (International Astronomical Union)

Organisasi astronomi global yang menetapkan standar dalam ilmu astronomi, termasuk definisi koordinat langit.

482. ijtimak

Konjungsi geosentris antara Matahari dan Bulan, menjadi titik awal penanggalan Hijriah.

483. Imaging Sensor

Komponen elektronik dalam kamera astronomi yang menangkap cahaya hilal.

484. Image Registration

Proses menyelaraskan dua atau lebih citra untuk analisis gabungan, digunakan dalam verifikasi data hilal.

485. Image Subtraction

Teknik mengurangi dua citra untuk mendeteksi perubahan, digunakan dalam deteksi objek redup seperti hilal.

486. Inclination

Kemiringan orbit benda langit terhadap bidang referensi, digunakan dalam perhitungan bulan.

487. Index of Refraction

Indeks pembiasan cahaya dalam medium, digunakan dalam perhitungan refraksi atmosfer saat pengamatan hilal.

488. Inertia

Ketahanan benda terhadap perubahan gerak, digunakan dalam simulasi orbit Bulan.

489. Infrared Astronomy

Cabang astronomi yang menggunakan cahaya inframerah, digunakan dalam pengamatan hilal di bawah kondisi buruk.

490. Input Validation

Proses memastikan data masuk sesuai dengan format dan syarat yang benar, digunakan dalam sistem input rukyat online.

491. Integer Programming

Metode optimasi matematika untuk variabel diskrit, digunakan dalam alokasi sumber daya untuk observasi hilal.

492. Interpolation

Estimasi nilai antara dua titik data, digunakan dalam memperkirakan posisi Bulan di antara waktu efemeris.

493. Interstellar Medium

Medium antarbintang yang dapat menghalangi pengamatan astronomi, meskipun jarang relevan dalam rukyat.

494. Interval Estimation

Metode statistik untuk memperkirakan rentang nilai sebenarnya, digunakan dalam menilai ketidakpastian waktu ijtimak.

495. Ionosphere

Lapisan ionisasi di atmosfer atas yang dapat mempengaruhi sinyal radio dari satelit, terkadang relevan dalam sistem penanggalan digital.

496. Image Enhancement

Teknik meningkatkan kualitas citra, digunakan dalam pengolahan gambar hilal.

497. Image Restoration

Proses mengembalikan citra ke bentuk aslinya dari gangguan, digunakan dalam rukyat digital.

498. Image Stacking

Teknik menggabungkan beberapa citra untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi noise, penting dalam pengamatan hilal redup.

499. Inertial Frame

Sistem koordinat yang tidak berotasi, digunakan dalam perhitungan efemeris presisi tinggi.

500. Inclinomometer

Sensor yang mengukur sudut inklinasi, digunakan dalam kalibrasi teleskop untuk pengamatan hilal.

[Bagian 10: Entri 501–520] – Huruf J

501. Julian Day (JD)

Sistem penomoran hari berturut-turut mulai dari 1 Januari 4713 SM, digunakan dalam efemeris astronomi.

502. Julian Date (JDate)

Tanggal yang dinyatakan dalam Julian Day, digunakan dalam perhitungan hisab presisi tinggi.

503. Julian Century

Satuan waktu yang digunakan dalam perhitungan astronomi presisi tinggi, setara dengan 36525 hari Julian.

504. Jovian Planet

Planet raksasa gas seperti Jupiter dan Saturnus, meskipun tidak relevan langsung dalam Astronomi, penting dalam studi astro-historis.

505. Jitter

Ketidakstabilan dalam sistem optik atau data, bisa mengganggu pengamatan hilal.

506. Jacobian Matrix

Matriks turunan parsial yang digunakan dalam transformasi koordinat dan penyesuaian model astronomi.

507. Jupiter

Planet terbesar dalam tata surya, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi penting dalam kajian historis.

508. Jamsin

Istilah dalam kalender Hijriah yang merujuk pada waktu malam hari, penting dalam penentuan waktu ibadah.

509. Jannah

Dalam konteks astronomi Islam, merupakan istilah simbolis untuk surga, kadang dikaitkan dengan tafsir ayat kosmologis.

510. Jazari

Ilmuwan Muslim yang pernah mengembangkan mekanisme otomatis mirip jam astronomi pada abad ke-13.

511. Juz

Salah satu dari 30 bagian Al-Qur'an yang dibagi berdasarkan waktu dan ritme pembacaan, tidak langsung terkait dengan astronomi.

512. Jet Lag

Perubahan fisiologis akibat perjalanan cepat lintas zona waktu, penting dalam penyesuaian waktu salat selama perjalanan lintas negara.

513. Jupiter Transit

Perlintasan Jupiter di depan bintang dari perspektif Bumi, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi relevan dalam studi planet.

514. Jansky (Jy)

Satuan fluks densitas dalam radio astronomi, digunakan dalam studi benda langit non-optik.

515. Jitter Correction

Koreksi fluktuasi dalam data pengamatan, digunakan dalam rukyat digital untuk meningkatkan stabilitas citra.

516. Jitter Filter

Algoritma untuk menghilangkan jitter dalam video astronomi, digunakan dalam rekaman pengamatan hilal.

517. Jitter Noise

Gangguan akibat ketidakstabilan sistem, mengurangi ketelitian dalam pengamatan visual.

518. Jitter Reduction

Teknik mengurangi getaran atau fluktuasi dalam sistem pengamatan, penting dalam teleskop digital.

519. Jitter Effect

Efek ketidakkonsistenan dalam pengamatan astronomi akibat gerakan sistem optik.

520. Jitter Model

Model matematika untuk memprediksi dan mengoreksi jitter dalam citra astronomi.

[Bagian 11: Entri 521–540] – Huruf K

521. Kakbah

Bangunan kiblat umat Islam di Masjidil Haram, Makkah; menjadi pusat penentuan arah kiblat dalam Astronomi.

522. Kata Pengenal (Keyword)

Istilah baku dalam bahasa pemrograman yang memiliki makna khusus dan tidak boleh digunakan sebagai nama variabel, seperti **if**, **for**, atau **class** dalam Python.

523. Kebutuhan Data Hisab

Jumlah dan jenis data astronomi yang diperlukan untuk menghitung posisi Bulan dan Matahari secara akurat, termasuk waktu ijtima, altitude, azimut, elongasi, dan iluminasi.

524. Kecepatan Orbit

Laju pergerakan Bulan mengelilingi Bumi atau Bumi mengelilingi Matahari, penting dalam menentukan fase bulan dan visibilitas hilal.

525. Kekuatan Cahaya Hilal

Intensitas cahaya hilal yang terlihat dari Bumi, dipengaruhi oleh sudut elongasi, ketinggian, dan kondisi atmosfer.

526. Kemiringan Sumbu Bumi

Sudut kemiringan sumbu rotasi Bumi ($\sim 23,5^\circ$), menyebabkan variasi musim dan panjang siang/malam sepanjang tahun.

527. Koordinat Geografis

Posisi di permukaan Bumi yang dinyatakan dalam lintang dan bujur, digunakan dalam penentuan waktu sholat dan arah kiblat.

528. Koordinat Langit

Sistem referensi untuk menentukan lokasi benda langit, seperti sistem ekuatorial, horisontal, dan ekliptika.

529. Koordinat Ekuator

Sistem koordinat berdasarkan ekuator langit, menggunakan deklinasi dan right ascension untuk menentukan posisi benda langit.

530. Koordinat Ekliptika

Sistem koordinat berdasarkan bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari, digunakan dalam perhitungan efemeris Bulan dan Matahari.

531. Koordinat Horisontal

Sistem koordinat berdasarkan horison pengamat, menggunakan azimut dan altitude untuk menentukan posisi Bulan saat rukyat.

532. Kriteria Visibilitas Hilal

Standar astronomis dan falakiah untuk menentukan apakah hilal bisa dilihat secara visual, seperti kriteria Danjon, Yallop, Odeh, dan Imkan Rukyat NU.

533. Kriteria Yallop

Metode visibilitas hilal yang dikembangkan oleh astronom Inggris Bernard D. Yallop, membagi wilayah ke dalam zona A–F berdasarkan parameter astronomi.

534. Kriteria Odeh

Metode visibilitas hilal yang dikembangkan oleh Syeikh Dr. Shawkat Odeh, membagi wilayah ke dalam empat zona berdasarkan nilai V dan ARCV.

535. Kriteria Danjon

Kriteria visibilitas hilal yang menyatakan bahwa hilal hanya dapat terlihat jika elongasi minimum mencapai 7° .

536. Kriteria Imkan Rukyat

Kriteria visibilitas hilal menurut Nahdlatul Ulama, yang mempertimbangkan ketinggian hilal, lama hilal di atas ufuk, dan jarak sudut dengan matahari.

537. Kriteria Wujudul Hilal

Kriteria visibilitas hilal menurut Muhammadiyah, yang menyatakan bahwa bulan baru sudah sah jika telah terjadi konjungsi dan Bulan terbit setelah Matahari terbenam.

538. Kriteria MABIMS

Kriteria internasional untuk awal bulan hijriah yang disepakati oleh Malaysia, Indonesia, Brunei, dan Singapura, berdasarkan hisab dan observasi.

539. Kriteria Saudi Arabia

Kriteria nasional Arab Saudi yang menggunakan kombinasi hisab dan rukyat untuk menentukan awal bulan Kamariyah.

540. Kriteria Global Hijriah

Usulan standar internasional untuk penanggalan Hijriah yang seragam, berdasarkan hisab presisi tinggi dan validasi rukyat global.



[Bagian 12: Entri 541–560] – Huruf L

541. Latitude Observer (Lintang Pengamat)

Posisi geografis utara/selatan relatif terhadap ekuator Bumi, mempengaruhi waktu sholat, azimut kiblat, dan visibilitas hilal.

542. Longitude Observer (Bujur Pengamat)

Posisi geografis timur/barat relatif terhadap meridian Greenwich, menentukan zona waktu dan waktu lokal untuk observasi hilal.

543. Local Mean Time (LMT)

Waktu lokal berbasis posisi rata-rata Matahari di meridian lokal, digunakan dalam penentuan waktu sholat historis.

544. Local Apparent Time (Waktu Matahari Nyata)

Waktu berdasarkan posisi sebenarnya Matahari di langit, berbeda setiap hari karena variasi orbit Bumi.

545. Light Pollution

Polusi cahaya perkotaan yang mengurangi kemampuan melihat objek redup seperti hilal, penting dalam penentuan lokasi rukyat.

546. Light Curve

Grafik kecerahan benda langit seiring waktu, digunakan dalam studi cahaya hilal selama beberapa jam pasca- ijtima.

547. Lunar Calendar

Kalender berbasis siklus bulan, seperti kalender Hijriah yang digunakan dalam tradisi Islam untuk menentukan tanggal ibadah.

548. Lunar Month

Satu bulan Kamariyah (~29,5 hari), dasar dari penanggalan Hijriah.

549. Lunar Phase

Delapan fase bulan: New Moon, Waxing Crescent, First Quarter, Waxing Gibbous, Full Moon, Waning Gibbous, Last Quarter, dan Waning Crescent.

550. Lunar Visibility Map

Peta digital yang menunjukkan zona visibilitas hilal secara global pada tanggal tertentu, berdasarkan algoritma KHGT atau kriteria lainnya.

551. Lunar Ephemeris

Tabel atau database yang berisi posisi Bulan relatif terhadap Bumi dan Matahari, digunakan dalam prediksi awal bulan hijriah.

552. Lunar Altitude

Ketinggian Bulan di atas horison saat matahari terbenam, salah satu parameter utama dalam kriteria visibilitas hilal.

553. Lunar Azimut

Arah horisontal Bulan dari pengamat, diukur dalam derajat dari utara geografis, digunakan untuk mengetahui posisi hilal di langit.

554. Lunar Elongation

Sudut antara Matahari dan Bulan dilihat dari Bumi, menjadi salah satu parameter utama dalam menentukan apakah hilal cukup tinggi untuk terlihat.

555. Lunar Illumination

Persentase permukaan bulan yang terkena sinar matahari dan terlihat dari Bumi, penting dalam menilai visibilitas hilal.

556. Lunar Transit

Peristiwa Bulan melewati meridian pengamat, biasanya digunakan untuk menentukan waktu malam dalam penanggalan Hijriah.

557. Lunar Culmination

Saat Bulan mencapai titik tertinggi di langit (upper culmination) atau terendah (lower culmination).

558. Lunar Eclipse

Gerhana bulan terjadi ketika Bumi berada di antara Matahari dan Bulan, menyebabkan Bulan masuk ke bayangan Bumi.

559. Lunar Occultation

Peristiwa ketika Bulan menutupi bintang atau planet dari pandangan pengamat di Bumi, digunakan dalam studi presisi posisi langit.

560. Lunar Libration

Getaran halus Bulan yang memungkinkan pengamat di Bumi melihat sedikit lebih dari separuh permukaannya, penting dalam analisis citra hilal.

 [Bagian 13: Entri 561–580] – Huruf M**561. Magnitude of the Moon**

Ukuran kecerahan Bulan tampak dari Bumi, semakin rendah nilainya, semakin terang Bulan tersebut.

562. Magnetic Declination

Sudut antara utara magnetik dan utara geografis, penting dalam navigasi dan penentuan arah kiblat otomatis.

563. Main Sequence Star

Bintang stabil yang sedang menjalani fusi hidrogen, tidak langsung berkaitan dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi bintang sebagai referensi.

564. Mean Solar Time

Waktu berdasarkan posisi rata-rata Matahari di langit, digunakan dalam sistem waktu sipil dan penanggalan.

565. Meridian Passage

Peristiwa transit benda langit di meridian pengamat, digunakan dalam menentukan waktu lokal dan waktu sholat.

566. Meridian Circle

Instrumen astronomi yang digunakan untuk mengukur waktu transit bintang dan benda langit lainnya.

567. Metadata

Data tentang data, seperti waktu observasi, lokasi, dan kondisi cuaca, penting dalam validasi

hasil rukyat dan hisab.

568. Machine Learning

Teknik komputasi yang memungkinkan sistem belajar dari data, digunakan dalam deteksi otomatis hilal dari citra astronomi.

569. Moonset

Waktu ketika bulan sepenuhnya tenggelam di horison sore.

570. Moonrise

Waktu ketika bulan mulai terbit di horison pagi.

571. Moon Position Calculation

Perhitungan posisi Bulan menggunakan model matematis dan efemeris, penting dalam hisab untuk menentukan visibilitas hilal.

572. Moon Altitude

Tinggi Bulan di atas horison saat matahari terbenam, menjadi parameter utama dalam kriteria visibilitas hilal.

573. Moon Azimut

Arah horisontal Bulan dari arah utara geografis saat matahari terbenam, digunakan untuk menentukan arah hilal di langit.

574. Moon Illumination

Persentase permukaan bulan yang disinari Matahari dan terlihat dari Bumi, penting dalam menilai kemungkinan terlihatnya hilal.

575. Moon Phase Prediction

Prediksi fase bulan menggunakan algoritma komputer, digunakan dalam aplikasi kalender Hijriah digital.

576. Moon Distance

Jarak Bulan dari Bumi dalam satuan kilometer atau AU, mempengaruhi ukuran tampak dan kecerahan hilal.

577. Moon-Sun Separation Angle

Sudut antara Bulan dan Matahari dilihat dari Bumi, menjadi parameter utama dalam menentukan apakah hilal bisa terlihat.

578. Moon-Sun Conjunction

Konjungsi antara Bulan dan Matahari, menjadi awal bulan baru dalam kalender Hijriah.

579. Moon-Sun Elongation

Sudut antara Bulan dan Matahari dilihat dari Bumi, menjadi salah satu parameter utama dalam menentukan apakah hilal bisa terlihat.

580. Moonset Delay

Selisih waktu antara matahari terbenam dan bulan terbenam, digunakan dalam menentukan durasi visibilitas hilal.



[Bagian 14: Entri 581–600] – Huruf N

581. Nadir

Titik di langit yang berlawanan dengan zenit, tepat di bawah pengamat.

582. National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)

Lembaga antariksa Indonesia yang pernah terlibat dalam pengembangan metode hisab dan prediksi visibilitas hilal.

583. Natural Satellite

Benda langit yang mengorbit planet secara alami, seperti Bulan mengorbit Bumi.

584. Neural Network

Model komputasi yang meniru cara kerja otak manusia, digunakan dalam deteksi otomatis hilal dari citra astronomi.

585. New Moon

Fase bulan ketika Bulan berada di antara Bumi dan Matahari, menjadi penanda awal bulan hijriah.

586. Night Sky Brightness

Kecerahan langit malam hari akibat polusi cahaya, bulan, dan galaksi Bima Sakti, mempengaruhi kemampuan rukyatul hilal.

587. Noise Reduction

Teknik menghilangkan gangguan dalam citra astronomi, digunakan dalam pengolahan gambar hilal.

588. Nonlinear Regression

Metode statistik untuk memodelkan hubungan kompleks antara parameter visibilitas hilal seperti altitude, elongasi, dan lag time.

589. Normal Distribution

Distribusi probabilitas berbentuk lonceng yang digunakan dalam analisis statistik data astronomi seperti distribusi ketinggian hilal.

590. Normalization

Proses penskalaan data ke rentang tertentu, seperti 0 hingga 1, digunakan dalam machine learning untuk klasifikasi zona visibilitas hilal.

591. Numerical Integration

Metode matematis untuk menghitung luas area di bawah kurva, digunakan dalam simulasi orbit Bulan.

592. Nutation

Getaran halus sumbu Bumi akibat gaya tarik gravitasi Bulan dan Matahari, mempengaruhi presesi dan transformasi koordinat langit.

593. Naked Eye Observation

Pengamatan tanpa alat bantu optik, menjadi dasar dari metode rukyatul hilal.

594. Nutation in Longitude

Komponen nutasi yang mempengaruhi perubahan bujur ekliptika, digunakan dalam perhitungan efemeris presisi tinggi.

595. Nutation in Obliquity

Komponen nutasi yang mempengaruhi kemiringan ekliptika, penting dalam transformasi koordinat astronomi presisi tinggi.

596. Nautical Twilight

Periode sebelum sunrise atau setelah sunset ketika Matahari berada 12° di bawah horison, masih cukup gelap untuk pengamatan astronomi.

597. Negative Latitude

Lintang negatif yang menunjukkan lokasi di belahan bumi selatan, mempengaruhi waktu sholat dan visibilitas hilal.

598. Negative Longitude

Bujur negatif yang menunjukkan lokasi di barat meridian Greenwich, mempengaruhi zona waktu dan penanggalan Hijriah.

599. Nearest Neighbor Interpolation

Metode interpolasi sederhana yang mengambil nilai terdekat, digunakan dalam pemrosesan citra astronomi untuk meningkatkan resolusi.

600. Newton-Raphson Method

Metode iteratif untuk mencari akar fungsi, digunakan dalam penyelesaian persamaan Kepler untuk orbit Bulan.

**[Bagian 15: Entri 601–620] – Huruf O****601. Obliquity of the Ecliptic**

Kemiringan sumbu rotasi Bumi terhadap bidang orbitnya ($\sim 23,5^\circ$), menjadi penyebab musim dan variasi waktu sholat.

602. Object Detection

Teknik dalam AI untuk mendeteksi objek dalam gambar, digunakan dalam deteksi otomatis hilal



dari citra astronomi.

603. Observational Astronomy

Cabang astronomi yang berfokus pada pengamatan langsung benda langit, termasuk rukyatul hilal.

604. Observation Log

Catatan harian pengamatan astronomi, digunakan dalam validasi data rukyatul hilal.

605. Osculating Orbit

Orbit benda langit yang dihitung untuk waktu tertentu, memperhitungkan gangguan dari benda lain seperti Jupiter.

606. Optical Telescope

Teleskop yang bekerja pada panjang gelombang tampak, digunakan dalam rukyat digital untuk meningkatkan visibilitas hilal.

607. Optical Distortion

Distorsi gambar dalam teleskop akibat lensa atau cermin, penting dalam pengolahan citra hilal.

608. Optical Filter

Filter yang membatasi panjang gelombang cahaya yang diterima sensor, meningkatkan kontras hilal terhadap latar belakang langit.

609. Open Source Software

Perangkat lunak gratis yang kode sumbernya tersedia untuk diedit dan didistribusikan ulang, seperti **Skyfield**, **Astropy**, dan **PyEphem**.

610. Open Data Initiative

Inisiatif pembagian data astronomi secara bebas, memungkinkan akses mudah ke efemeris dan data hilal.

611. Overfitting

Kondisi model machine learning yang terlalu rumit dan gagal generalisasi, bisa terjadi dalam model prediksi visibilitas hilal.

612. Odeh's Criterion

Kriteria visibilitas hilal yang dikembangkan oleh Syeikh Dr. Shawkat Odeh, menggunakan parameter ARCV dan lag time untuk menentukan zona visibilitas.

613. Odeh's V Value

Parameter numerik dalam kriteria Odeh yang menentukan apakah hilal terlihat atau tidak, dengan batas-batas zona visibilitas.

614. Odeh's ARCV

Sudut antara garis lurus matahari dan bulan dilihat dari Bumi, menjadi parameter dalam kriteria Odeh untuk visibilitas hilal.

615. Odeh's Lag Time

Durasi antara matahari terbenam dan bulan terbenam, menjadi faktor dalam kriteria Odeh untuk menilai visibilitas hilal.

616. Odeh's Zoning System

Sistem pembagian zona visibilitas hilal menurut kriteria Odeh: Zona A (terlihat mata telanjang), B (terlihat dengan alat), C (hanya terlihat dengan alat), dan D (tidak terlihat sama sekali).

617. Odeh's Validation

Proses verifikasi akurasi kriteria Odeh dengan data observasi riil dari berbagai lokasi dan waktu.

618. Odeh's Algorithm

Algoritma berbasis komputer untuk menerapkan kriteria Odeh secara otomatis dalam peta visibilitas hilal.

619. Odeh's Visualization

Representasi grafis hasil analisis visibilitas hilal berdasarkan kriteria Odeh, sering dalam bentuk peta digital.

620. Odeh's Application

Implementasi kriteria Odeh dalam aplikasi digital untuk prediksi visibilitas hilal secara real-time

dan regional.

[Bagian 16: Entri 621–640] – Huruf P

621. Parallax

Perbedaan posisi benda langit karena perbedaan lokasi pengamat, digunakan dalam perhitungan jarak Bulan dan koreksi posisi hilal.

622. Parallactic Angle

Sudut antara lingkaran deklinasi dan vertikal benda langit, digunakan dalam penyesuaian koordinat untuk rukyatul hilal.

623. Parsec (pc)

Satuan jarak astronomi setara $\sim 3,26$ tahun cahaya, digunakan dalam skala tata surya dan galaksi.

624. Partial Lunar Eclipse

Gerhana bulan parsial, ketika sebagian bulan masuk ke bayangan inti Bumi.

625. Partial Solar Eclipse

Gerhana matahari parsial, ketika Bulan hanya menutupi sebagian Matahari dari pandangan Bumi.

626. Path of Visibility

Lintasan di Bumi di mana hilal dapat terlihat dengan jelas, digunakan dalam peta visibilitas hilal.

627. Penumbra

Bayangan redup Bumi yang menyelimuti Bulan saat gerhana bulan parsial, tidak sepenuhnya menghalangi cahaya Bulan.

628. Penumbral Lunar Eclipse

Gerhana bulan penumbra, ketika Bulan hanya melewati bagian redup bayangan Bumi, sulit diamati secara visual.

629. Pixel Binning

Teknik penggabungan piksel dalam kamera astronomi untuk meningkatkan sensitivitas, membantu mendeteksi hilal redup.

630. Planetary Alignment

Susunan planet dalam garis lurus atau sudut tertentu, meskipun tidak langsung terkait dengan Astronomi, kadang dikaitkan dalam penanggalan tradisional.

631. Planetarium Software

Perangkat lunak simulasi langit seperti Stellarium, digunakan dalam pendidikan dan pelatihan rukyatul hilal.

632. Pluto

Planet kerdil di pinggir tata surya, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi menjadi bagian dari studi kosmologi Islam modern.

633. Point Spread Function (PSF)

Fungsi yang menggambarkan bagaimana titik cahaya ditangkap oleh instrumen optik, digunakan dalam pengolahan citra hilal.

634. Polar Coordinates

Sistem koordinat berbasis sudut dan jarak dari titik asal, digunakan dalam sistem koordinat astronomi dan plotting jalur hilal.

635. Polar Motion

Pergerakan kutub Bumi akibat dinamika internal dan gravitasi, mempengaruhi transformasi koordinat presisi tinggi.

636. Population Mean

Rata-rata dari seluruh populasi data, digunakan dalam analisis statistik data visibilitas hilal dari banyak lokasi.

637. Position Angle

Sudut arah benda langit relatif terhadap utara langit, digunakan dalam menentukan orientasi sabit hilal.

638. Precession of the Equinoxes

Pergerakan lambat titik ekuinoks akibat goyangan sumbu Bumi, siklusnya sekitar 26.000 tahun.

639. Precision

Akurasi pengukuran atau perhitungan, penting dalam hisab untuk memastikan kesesuaian dengan data observasi.

640. Predictive Modeling

Pemodelan matematis untuk memprediksi fenomena masa depan, seperti visibilitas hilal dan gerhana.

[Bagian 17: Entri 641–660] – Huruf Q

641. Qibla Direction

Arah Kakbah di Makkah dari lokasi pengamat, menjadi dasar penentuan arah salat dan penanggalan Hijriah.

642. Qibla Compass

Kompas khusus yang menunjukkan arah kiblat berdasarkan lokasi geografis pengguna.

643. Qibla Calculation

Perhitungan arah kiblat berdasarkan lintang dan bujur pengamat, menggunakan formula trigonometri bola.

644. Qibla Deviation

Kesalahan dalam penentuan arah kiblat akibat pembulatan, kesalahan pengukuran, atau distorsi medan magnet.

645. Qibla Finder

Aplikasi digital yang menentukan arah kiblat berdasarkan lokasi GPS pengguna, digunakan dalam navigasi dan penanggalan Hijriah.

646. Qibla Correction

Penyesuaian arah kiblat berdasarkan data presisi tinggi dan transformasi koordinat.

647. Qibla Vector

Vektor arah kiblat dalam ruang tiga dimensi, digunakan dalam sistem penentuan arah otomatis.

648. Qibla Accuracy

Tingkat ketepatan dalam penentuan arah kiblat, penting dalam pembangunan masjid dan penggunaan kompas digital.

649. Qibla Verification

Proses validasi arah kiblat menggunakan data GPS dan perhitungan matematika, digunakan dalam aplikasi mobile dan web.

650. Qibla Orientation

Arah kiblat dalam konteks arsitektur dan tata ruang, penting dalam penempatan mihrab dan mimbar masjid.

651. Qibla Mapping

Pembuatan peta digital yang menunjukkan arah kiblat dari berbagai lokasi di dunia.

652. Qibla Navigation

Panduan navigasi berbasis arah kiblat, digunakan dalam aplikasi spiritual dan perjalanan.

653. Qibla Estimation

Estimasi arah kiblat berdasarkan data lintang dan bujur kasar, digunakan dalam situasi darurat atau tanpa GPS.

654. Qibla Determination

Proses final menentukan arah kiblat dengan metode presisi tinggi, menggunakan koordinat astronomi dan GIS.

655. Qibla Measurement

Pengukuran arah kiblat menggunakan alat fisik seperti sextant atau theodolit, relevan dalam penanggalan tradisional.

656. Qibla Database

Database yang menyimpan informasi arah kiblat untuk ribuan lokasi di dunia, digunakan dalam aplikasi digital dan API.

657. Qibla API

Antarmuka program aplikasi (API) yang memberikan data arah kiblat secara real-time berdasarkan koordinat pengguna.

658. Qibla Web Service

Layanan daring yang memberikan arah kiblat berdasarkan lokasi pengguna, sering diintegrasikan dalam aplikasi mobile dan website.

659. Qibla Calculation Formula

Formula trigonometri bola untuk menentukan arah kiblat berdasarkan koordinat pengamat dan Kakbah.

660. Qibla Using Celestial Coordinates

Penentuan arah kiblat berdasarkan sistem koordinat astronomi seperti ekuatorial dan horisontal.



[Bagian 18: Entri 661–680] – Huruf R

661. Rise Time

Waktu ketika benda langit terbit di horison, digunakan dalam menentukan waktu subuh dan rukyatul hilal.

662. Rise Set Algorithm

Algoritma untuk menghitung waktu terbit dan terbenam benda langit, digunakan dalam modul penanggalan Hijriah.

663. Rise Set Conditions

Syarat-syarat benda langit terbit dan terbenam, penting dalam penentuan waktu sholat dan visibilitas hilal.

664. Rising Star

Bintang yang muncul di ufuk timur sebelum matahari terbit, kadang digunakan dalam penanggalan tradisional.

665. Right Ascension (RA)

Koordinat dalam sistem ekuatorial yang menunjukkan posisi benda langit dari titik Aries, mirip bujur geografis.

666. Refraction Correction

Koreksi pembiasan cahaya oleh atmosfer Bumi, digunakan dalam perhitungan altitude dan azimuth presisi tinggi.

667. Radiant Flux

Energi elektromagnetik yang dipancarkan benda langit per satuan waktu, digunakan dalam pengukuran kecerahan hilal.

668. Radial Velocity

Kecepatan benda langit menjauh atau mendekat relatif terhadap pengamat, digunakan dalam studi orbit Bulan.

669. Random Forest

Algoritma machine learning ensemble yang digunakan dalam klasifikasi zona visibilitas hilal berdasarkan data observasi.

670. Rukyatul Hilal

Metode penentuan awal bulan hijriah berdasarkan pengamatan visual hilal sesuai sunnah Rasulullah SAW.

671. Rukyat Regional

Pengamatan hilal yang dilakukan secara lokal di suatu wilayah, digunakan dalam penanggalan Hijriah nasional.

672. Rukyat Global

Pengamatan hilal yang dilakukan secara internasional untuk sinkronisasi penanggalan Hijriah.

673. Rukyat Digital

Pengamatan hilal dengan bantuan kamera, teleskop, dan software astronomi, meningkatkan akurasi dan dokumentasi rukyat.

674. Rukyat Criteria

Kriteria visibilitas hilal yang digunakan dalam metode rukyat, seperti ketinggian minimal dan elongasi.

675. Rukyat Simulation

Simulasi pengamatan hilal menggunakan perangkat lunak astronomi, digunakan dalam pelatihan dan prediksi visibilitas.

676. Rukyat Report

Laporan hasil pengamatan hilal dari berbagai wilayah, digunakan dalam penetapan awal bulan hijriah.

677. Rukyat Network

Jaringan lembaga dan pengamat hilal di berbagai wilayah, digunakan dalam penentuan awal bulan hijriah secara kolektif.

678. Rukyat Organization

Organisasi atau lembaga yang bertugas melakukan dan melaporkan rukyatul hilal, seperti BMKG dan LAPAN di Indonesia.

679. Rukyat Technology

Pemanfaatan teknologi dalam rukyatul hilal, seperti kamera digital, teleskop otomatis, dan software pengolah citra.

680. Rukyat Standardization

Penyeragaman prosedur dan kriteria rukyatul hilal untuk meningkatkan konsistensi dan keandalan.

[Bagian 19: Entri 681–700] – Huruf S

681. Sidereal Day

Waktu yang dibutuhkan Bumi untuk satu kali rotasi lengkap relatif terhadap bintang tetap (~23 jam 56 menit 4 detik).

682. Solar Day

Waktu yang dibutuhkan Bumi untuk satu kali rotasi relatif terhadap Matahari (~24 jam).

683. Synodic Month

Waktu antara dua bulan baru berturut-turut (~29,53 hari), menjadi dasar kalender Hijriah.

684. Sidereal Month

Waktu yang diperlukan Bulan untuk mengorbit Bumi sekali relatif terhadap bintang tetap (~27,32 hari).

685. Solar Month

Satu bulan dalam kalender Gregorian, tidak relevan langsung dalam kalender Hijriah tetapi digunakan dalam konversi tanggal.

686. Solar Noon

Waktu ketika Matahari berada di titik tertinggi di langit, menjadi acuan penentuan waktu dzuhur.

687. Solar Year

Waktu yang dibutuhkan Bumi untuk satu kali revolusi mengelilingi Matahari (~365,256 hari), menjadi dasar kalender Masehi.

688. Solar Eclipse

Gerhana matahari terjadi ketika Bulan berada di antara Matahari dan Bumi, menyebabkan penggelapan Matahari.

689. Solar Event

Peristiwa yang melibatkan Matahari seperti transit, gerhana, dan aktivitas solar yang dapat mempengaruhi observasi hilal.

690. Solar Constant

Energi radiasi Matahari yang diterima Bumi per satuan luas, penting dalam studi cahaya hilal.

691. Solar Radiation

Radiasi Matahari yang mempengaruhi suhu dan kondisi atmosfer saat pengamatan hilal.

692. Solar Flare

Letusan besar di permukaan Matahari yang bisa mengganggu komunikasi dan observasi astronomi.

693. Sunrise

Waktu ketika Matahari mulai terbit di horison, menjadi dasar penentuan waktu sholat subuh.

694. Sunset

Waktu ketika Matahari sepenuhnya tenggelam di horison, menjadi dasar penentuan waktu maghrib dan hilal.

695. Sun Path Diagram

Diagram yang menunjukkan lintasan Matahari di langit sepanjang tahun, berguna dalam perencanaan observasi hilal.

696. Sun Angle

Sudut elevasi Matahari di langit, digunakan dalam perhitungan waktu sholat dan visibilitas hilal.

697. Sun Position

Posisi Matahari di langit berdasarkan waktu dan lokasi, penting dalam penentuan waktu sholat dan rukyatul hilal.

698. Sunlight Scattering

Hamburan cahaya matahari di atmosfer Bumi, menyebabkan langit tetap terang meski matahari telah terbenam, mempengaruhi rukyatul hilal.

699. Sun-Earth-Moon Geometry

Geometri tiga benda langit ini menjadi dasar penentuan konjungsi dan visibilitas hilal.

700. Sun-Eclipse Prediction

Prediksi gerhana matahari berdasarkan efemeris presisi tinggi, penting dalam penanggalan Hijriah dan studi sejarah.

**DAFTAR GLOSSARIUM ASTRONOMI ISLAM & PYTHON****[Bagian 20: Entri 701–720] – Huruf T****701. Tithi**

Satuan waktu dalam kalender Hindu yang berdasarkan sudut elongasi Bulan-Matahari, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi penting dalam studi penanggalan lintas budaya.

702. Terrestrial Time (TT)

Skala waktu uniform yang digunakan dalam perhitungan efemeris astronomi; sebelumnya disebut Ephemeris Time (ET).

703. Time Standard

Standar waktu baku untuk keperluan ilmiah dan sipil, seperti UTC, TT, dan UT.

704. Time Zone

Pembagian wilayah dunia berdasarkan offset UTC, digunakan dalam penentuan waktu salat dan rukyatul hilal.

705. True Solar Time

Waktu berdasarkan posisi sebenarnya Matahari di langit, berbeda setiap hari karena variasi orbit Bumi.

706. Transit of Venus

Peristiwa ketika planet Venus melintas di depan Matahari dari perspektif Bumi, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi penting dalam sejarah astronomi Islam.

707. Telescope

Alat optik untuk mengamati benda langit redup seperti hilal, digunakan dalam rukyat digital modern.

708. Thermal Noise

Gangguan elektronik pada sensor kamera akibat panas, mengurangi kualitas gambar hilal.

709. Topocentric

Berbasis lokasi pengamat di permukaan Bumi, digunakan dalam perhitungan presisi tinggi untuk prediksi visibilitas hilal.

710. Time Dilation

Efek relativistik di mana waktu berjalan berbeda tergantung kecepatan dan medan gravitasi, tidak langsung berkaitan dengan Astronomi tetapi relevan dalam kosmologi Islam.

711. Time Synchronization

Penyelarasan jam antara sistem lokal dan global, penting dalam koordinasi rukyat internasional.

712. Timekeeping

Proses mengukur dan menyimpan waktu secara akurat, digunakan dalam prediksi ijtimak dan rukyatul hilal.

713. Tidal Locking

Kondisi ketika Bulan selalu menunjukkan sisi yang sama ke Bumi, menjelaskan kenapa kita hanya melihat satu sisi bulan.

714. Total Lunar Eclipse

Gerhana bulan total saat Bulan sepenuhnya masuk ke bayangan umbra Bumi.

715. Total Solar Eclipse

Gerhana matahari total saat Bulan sepenuhnya menutupi Matahari dari pandangan Bumi.

716. Tracking Algorithm

Algoritma komputer untuk mengikuti gerakan benda langit secara otomatis, digunakan dalam teleskop digital untuk rukyat hilal.

717. Transformer Model

Model AI berbasis neural network untuk analisis data urutan, digunakan dalam prediksi pola visibilitas hilal berbasis big data.

718. Time Series Analysis

Metode statistik untuk menganalisis data berurutan seperti data visibilitas hilal selama bertahun-tahun.

719. Time Domain

Representasi data dalam domain waktu, digunakan dalam analisis durasi visibilitas hilal.

720. Time Conversion

Konversi waktu antara zona waktu atau skala waktu seperti UTC ke waktu lokal atau TT.



[Bagian 21: Entri 721–740] – Huruf U

721. Universal Time (UT)

Waktu berbasis rotasi Bumi, digunakan dalam observasi astronomi untuk sinkronisasi global.

722. UTC (Coordinated Universal Time)

Versi modern dari GMT, standar waktu dunia yang dikoreksi dengan jam atom.

723. Unix Timestamp

Jumlah detik yang telah berlalu sejak 1 Januari 1970 pukul 00:00:00 UTC, digunakan dalam log sistem hisab dan rukyat digital.

724. Umma (Komunitas Muslim Global)

Komunitas umat Islam yang menjadi dasar kebutuhan penyatuan metode penanggalan Hijriah.

725. Ummul Qura Calendar

Kalender resmi Arab Saudi yang digunakan dalam penanggalan Hijriah nasional dan internasional.

726. Unified Islamic Calendar

Usulan penanggalan Hijriah tunggal untuk seluruh dunia Islam, berbasis hisab presisi tinggi dan validasi rukyat global.

727. User Interface (UI)

Antarmuka pengguna dalam aplikasi hisab dan rukyat digital, memudahkan akses informasi

penanggalan Hijriah.

728. User Experience (UX)

Pengalaman pengguna dalam menggunakan aplikasi falakiyah digital, penting dalam adopsi teknologi oleh masyarakat luas.

729. Universal Meridian

Meridian Greenwich sebagai titik nol bujur, menjadi acuan dalam sistem penanggalan global.

730. Ultraviolet Astronomy

Cabang astronomi yang menggunakan cahaya ultraviolet, meskipun tidak langsung berkaitan dengan hilal, relevan dalam studi radiasi matahari.

731. Uranography

Pemetaan langit dalam bentuk kartografi astronomi, digunakan dalam pembuatan peta zona visibilitas hilal.

732. Uranographer Projection

Proyeksi bola langit ke bidang datar untuk peta astronomi, digunakan dalam visualisasi efemeris dan zona visibilitas hilal.

733. Uniform Distribution

Distribusi probabilitas seragam, digunakan dalam simulasi parameter visibilitas hilal dalam rentang tertentu.

734. Unsupervised Learning

Teknik machine learning tanpa label data, digunakan dalam pengelompokan zona visibilitas hilal berdasarkan parameter astronomi.

735. Uncertainty Principle

Prinsip fisika kuantum tentang batas ketepatan pengukuran simultan, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam astrofisika modern.

736. Upcoming Event Prediction

Prediksi fenomena astronomi mendatang seperti visibilitas hilal, gerhana, dan transit, dilakukan dengan Python dan efemeris.

737. UAE Space Agency

Badan antariksa Uni Emirat Arab yang turut serta dalam pengembangan penanggalan Hijriah digital.

738. UARS (Upper Atmosphere Research Satellite)

Satelit NASA untuk studi atmosfer atas yang dapat mempengaruhi pengamatan hilal dari luar angkasa.

739. Unaided Eye Observation

Pengamatan hilal tanpa bantuan alat optik, sesuai prinsip rukyat tradisional.

740. Undershoot

Kesalahan dalam estimasi posisi benda langit akibat pembulatan atau pendekatan numerik, perlu dikoreksi dalam hisab.



[Bagian 22: Entri 741–760] – Huruf V

741. Visibility Criterion

Parameter yang menentukan apakah hilal bisa terlihat, seperti ketinggian, elongasi, lag time, dan fraksi iluminasi.

742. Visual Magnitude

Kecerahan tampak benda langit, digunakan dalam menilai kemungkinan hilal terlihat.

743. Vernal Equinox

Titik ekuinoks musim semi di belahan bumi utara, menjadi referensi dalam sistem koordinat astronomi.

744. Video Astronomy

Penggunaan video untuk merekam dan menganalisis benda langit seperti hilal, meningkatkan detail dan dokumentasi.

745. Virtual Observatory

Infrastruktur digital untuk mengakses data astronomi global, digunakan dalam pengembangan model visibilitas hilal.

746. Vector Graphics

Format grafis yang tidak tergantung resolusi, digunakan dalam peta prediksi visibilitas hilal dan diagram astronomi.

747. Variable Star

Bintang yang berubah-ubah kecerahannya, kadang digunakan dalam studi waktu dan navigasi malam.

748. Variability

Perubahan nilai parameter seperti ketinggian hilal akibat kondisi atmosfer dan presesi sumbu Bumi.

749. Vignetting

Efek gelap di pinggir citra astronomi akibat lensa atau cermin, perlu dikoreksi dalam rukyat digital.

750. Voxels

Unit volume dalam data tiga dimensi, digunakan dalam pemodelan atmosfer untuk analisis refraksi hilal.

751. Vega

Bintang acuan dalam skala magnitudo astronomi, digunakan sebagai standar kecerahan dalam banyak studi.

752. Variance

Ukuran seberapa jauh data tersebar dari rata-ratanya, digunakan dalam analisis ketidakpastian prediksi visibilitas hilal.

753. Validation Set

Data uji yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi model AI dalam prediksi visibilitas hilal.

754. Value Iteration

Algoritma dalam reinforcement learning yang digunakan dalam optimasi proses hisab dan prediksi visibilitas.

755. Vortex Detection

Deteksi pusaran dalam citra hilal akibat turbulensi atmosfer, penting dalam pengolahan citra rukyat digital.

756. Voxel-based Classification

Klasifikasi berbasis volumetrik untuk data astronomi besar, digunakan dalam segmentasi langit untuk rukyat.

757. Volumetric Rendering

Teknik visualisasi data tiga dimensi, digunakan dalam simulasi atmosfer untuk analisis visibilitas hilal.

758. Vanguard Program

Program antariksa AS awal yang membantu perkembangan astronomi, termasuk dalam studi bulan dan visibilitas sabit.

759. Venus Transit

Peristiwa transit planet Venus di depan Matahari, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi penting dalam sejarah astronomi.

760. Viscosity

Sifat fluida yang mempengaruhi stabilitas udara dan kualitas langit pengamatan hilal.

**[Bagian 23: Entri 761–780] – Huruf W****761. Wavelet Transform**

Teknik matematis untuk analisis frekuensi dan waktu bersamaan, digunakan dalam deteksi dini hilal dari noise.

762. Weighted Average

Rata-rata tertimbang, digunakan dalam menggabungkan hasil hisab dari berbagai sumber data.

763. White Balance

Penyesuaian warna dalam citra astronomi untuk menampilkan warna sebenarnya dari hilal.

764. Wide Field Imaging

Pengambilan gambar dalam sudut pandang luas, digunakan dalam pencarian hilal di ufuk barat.

765. Wind Chill

Indeks suhu efektif akibat angin, mempengaruhi kenyamanan tim pengamat hilal di lapangan.

766. World Coordinate System (WCS)

Sistem koordinat dalam citra astronomi untuk menempatkan objek langit ke posisi tepat dalam peta digital.

767. Water Vapor

Uap air di atmosfer yang menyebabkan hamburan cahaya, mengurangi kontras hilal saat rukyat.

768. Wavelength

Panjang gelombang cahaya, penting dalam memilih filter optimal untuk pengamatan hilal.

769. Window Function

Fungsi matematis untuk membatasi analisis data ke rentang tertentu, digunakan dalam analisis waktu dan visibilitas hilal.

770. Weather Forecast

Prakiraan cuaca yang mempengaruhi keberhasilan rukyatul hilal, seperti tutupan awan dan polusi cahaya.

771. Web Scraping

Ekstraksi data dari situs web seperti peta visibilitas hilal dan efemeris online.

772. Weakly Supervised Learning

Metode AI yang menggunakan sedikit data berlabel, digunakan dalam klasifikasi zona visibilitas hilal dengan data historis.

773. Western Horison

Horison barat tempat hilal biasanya diamati, menjadi fokus utama dalam rukyatul hilal.

774. Whitelight Filter

Filter optik yang memungkinkan semua panjang gelombang tampak, digunakan dalam pengamatan hilal tanpa distorsi warna.

775. Wiladatul Hilal

Istilah lain untuk fase bulan baru, mirip dengan "wujudul hilal" dalam terminologi Muhammadiyah.

776. Wedge Filter

Filter optik untuk mengurangi silau cahaya matahari, meningkatkan kontras hilal di langit senja.

777. Waning Crescent

Hilal yang mulai menghilang pasca bulan purnama, tidak relevan langsung dalam penanggalan Hijriah tetapi penting dalam studi lunar cycle.

778. Waxing Crescent

Hilal yang mulai tampak setelah konjungsi, menjadi fokus utama rukyatul hilal.

779. Warping

Distorsi dalam citra astronomi akibat atmosfer atau sistem optik, perlu dikoreksi dalam rukyat digital.

780. Weighted Least Squares

Metode regresi untuk mengestimasi parameter visibilitas hilal dengan bobot kesalahan berbeda-beda.



[Bagian 24: Entri 781–800] – Huruf X

781. X-ray Astronomy

Cabang astronomi yang mempelajari benda langit dalam spektrum sinar-X, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi aktivitas matahari.

782. X-axis in Astronomical Coordinates

Sumbu X dalam sistem koordinat Cartesian langit, digunakan dalam transformasi koordinat dan penentuan arah kiblat.

783. Xenon Flash

Sinar kilat digunakan dalam eksperimen laboratorium untuk mensimulasikan cahaya hilal dalam studi persepsi visual.

784. X-band

Rentang frekuensi radio (8–12 GHz), digunakan dalam tracking satelit astronomi dan komunikasi data efemeris.

785. X-ray Emission

Radiasi sinar-X dari matahari dan bintang lain, relevan dalam studi dampak solar flares pada pengamatan hilal.

786. X-axis Correction

Koreksi sumbu X dalam sistem koordinat horisontal, digunakan dalam pelacakan hilal berbasis teleskop otomatis.

787. Xenon Lamp

Sumber cahaya putih kuat digunakan dalam eksperimen laboratorium untuk simulasi cahaya hilal.

788. X-ray Telescope

Teleskop sinar-X untuk studi benda langit energi tinggi, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi solar activity.

789. Xerography

Teknik pencitraan elektrostatis yang tidak digunakan dalam astronomi langsung, tetapi relevan dalam cetak peta visibilitas hilal.

790. X-ray Binary

Sistem bintang ganda yang memancarkan sinar-X, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi galaksi.

791. X-ray Flare

Letusan sinar-X dari matahari, mempengaruhi ionosfer dan komunikasi satelit, bisa mengganggu sistem prediksi visibilitas hilal.

792. X-ray Source

Sumber radiasi sinar-X di langit, meskipun tidak terkait langsung dengan Astronomi, relevan dalam penggambaran fenomena langit.

793. XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)

Teknik analisis material yang tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi digunakan dalam studi alat pengamatan astronomi.

794. Xerox Copy

Salinan dokumen, digunakan dalam distribusi fatwa dan laporan rukyatul hilal sebelum era digital.

795. X-ray Diffraction

Teknik analisis struktur kristal, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi digunakan dalam studi material instrumen astronomi.

796. X-axis Rotation

Rotasi sistem koordinat sepanjang sumbu X, digunakan dalam penyesuaian orientasi citra astronomi.

797. X-linked Data

Data yang saling terkait dalam sistem Hisab-Rukyat, seperti data altitude hilal dan parameter cuaca.

798. X-coordinate

Nilai posisi horisontal dalam sistem koordinat, digunakan dalam plotting jalur hilal di langit.

799. X-factor

Faktor koreksi dalam model visibilitas hilal yang mempertimbangkan pengaruh atmosfer dan kualitas pengamat.

800. X-ray Background

Radiasi sinar-X latar belakang alam semesta, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi ruang angkasa.

**[Bagian 25: Entri 801–820] – Huruf Y****801. Yallop Criterion**

Kriteria visibilitas hilal yang dikembangkan oleh Bernard Yallop, membagi dunia ke dalam zona A–F berdasarkan parameter ARCV dan lag time.

802. Yallop's V Value

Parameter numerik dalam kriteria Yallop yang menentukan apakah hilal terlihat atau tidak, dengan batas-batas zona visibilitas.

803. Yallop's ARCV

Sudut antara garis lurus matahari dan bulan dilihat dari Bumi, menjadi parameter dalam kriteria

Yallop untuk visibilitas hilal.

804. Yallop's Lag Time

Durasi antara matahari terbenam dan bulan terbenam, menjadi faktor dalam kriteria Yallop untuk menilai visibilitas hilal.

805. Yallop's Zoning System

Sistem pembagian zona visibilitas hilal menurut kriteria Yallop: Zona A (terlihat mata telanjang) hingga Zona F (tidak terlihat sama sekali).

806. Yallop's Validation

Proses verifikasi akurasi kriteria Yallop dengan data observasi riil dari berbagai lokasi dan waktu.

807. Yallop's Algorithm

Algoritma berbasis komputer untuk menerapkan kriteria Yallop secara otomatis dalam peta visibilitas hilal.

808. Yallop's Visualization

Representasi grafis hasil analisis visibilitas hilal berdasarkan kriteria Yallop, sering dalam bentuk peta digital.

809. Yallop's Application

Implementasi kriteria Yallop dalam aplikasi digital untuk prediksi visibilitas hilal secara real-time dan regional.

810. Yearly Archive

Arsip tahunan data visibilitas hilal atau efemeris, digunakan dalam analisis trend dan validasi model hisab.

811. Yottabyte (YB)

Satuan penyimpanan data sangat besar, bisa digunakan dalam pengelolaan big data astronomi global.

812. Young's Modulus

Modulus elastisitas bahan, digunakan dalam desain teleskop dan tripod untuk rukyat digital.

813. Yeast Modeling

Model biologis yang tidak terkait langsung dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi ayat Al-Qur'an tentang fermentasi dan siklus alami.

814. Yellow Giant

Bintang raksasa kuning yang jarang digunakan dalam Astronomi, tetapi relevan dalam studi bintang sebagai referensi navigasi.

815. Yield Strength

Kekuatan tarik yang dapat ditahan bahan sebelum deformasi permanen, penting dalam desain instrumen astronomi.

816. Yottasecond (Ys)

Satuan waktu sangat besar ($\sim 10^{24}$ detik), tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi evolusi alam semesta.

817. Yotta Prefix (Y)

Prefiks SI untuk 10^{24} , digunakan dalam ukuran data astronomi besar.

818. Y-axis Rotation

Rotasi sistem koordinat sepanjang sumbu Y, digunakan dalam penyesuaian orientasi citra astronomi.

819. Y-axis in Astronomical Coordinates

Sumbu Y dalam sistem koordinat langit, digunakan dalam transformasi koordinat dan plotting posisi hilal.

820. Yardstick Astronomy

Ilmu pengukuran jarak astronomi menggunakan bintang variabel sebagai patokan, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi bintang sebagai referensi navigasi.

821. Zenith Point

Titik tertinggi di langit dari perspektif pengamat, menjadi acuan dalam sistem koordinat horisontal.

822. Zonal Visibilities

Pembagian wilayah berdasarkan kemungkinan visibilitas hilal, seperti Zona A–F dalam kriteria Yallop.

823. Zonal Climate

Iklim regional yang mempengaruhi rukyatul hilal, seperti area tropis, pegunungan, atau gurun pasir.

824. Zone Detection

Metode mendeteksi wilayah visibilitas hilal berdasarkan data fisik dan astronomi.

825. Zonal Statistics

Analisis statistik berdasarkan zona geografis, digunakan dalam membandingkan data hisab dan rukyat dari berbagai wilayah.

826. Zonal Mean

Rata-rata parameter astronomi dalam satu zona geografis, digunakan dalam validasi kriteria visibilitas hilal.

827. Zonal Forecast

Prakiraan visibilitas hilal berdasarkan zona geografis dan parameter astronomi.

828. Zonal Correction

Koreksi berdasarkan zona iklim dan geografis dalam perhitungan visibilitas hilal.

829. Zonal Map

Peta yang dibagi ke dalam zona berdasarkan parameter visibilitas hilal, seperti Zona A–F dalam kriteria Yallop.

830. Zonal Overlay

Teknik GIS untuk menumpuk layer data berdasarkan zona visibilitas hilal, digunakan dalam peta prediksi visibilitas.

831. Zonal Refractive Index

Indeks pembiasan atmosfer berdasarkan zona geografis, digunakan dalam koreksi data rukyat digital.

832. Zonal Temperature Gradient

Perbedaan suhu berdasarkan zona geografis, mempengaruhi presisi pengamatan hilal.

833. Zonal Humidity Level

Tingkat kelembapan dalam zona geografis, mempengaruhi kualitas pengamatan visibilitas hilal.

834. Zonal Wind Pattern

Pola angin dalam zona geografis yang bisa mempengaruhi stabilitas citra hilal dalam rukyat digital.

835. Zonal Cloud Cover

Persentase penutupan langit oleh awan dalam zona geografis, menjadi faktor dalam prediksi keberhasilan rukyat.

836. Zonal Atmospheric Pressure

Tekanan atmosfer dalam zona geografis, mempengaruhi refleksi dan refraksi cahaya hilal.

837. Zonal Light Pollution Map

Peta tingkat polusi cahaya dalam zona geografis, digunakan dalam penentuan lokasi rukyat ideal.

838. Zonal Visibility Index

Indeks yang menggambarkan peluang visibilitas hilal dalam zona tertentu, digunakan dalam prediksi awal bulan hijriah.

839. Zonal Gravitational Pull

Tarikan gravitasi berdasarkan zona geografis, mempengaruhi presisi pengukuran waktu dan posisi hilal.

840. Zonal Air Quality Index

Indeks kualitas udara dalam zona geografis, mempengaruhi transparansi langit saat rukyatul hilal.

[Bagian 27: Entri 841–860] – Huruf A (Lanjutan)

 Lanjut Otomatis Tanpa Jeda

841. Astronomical Zenith

Titik tertinggi di langit dari perspektif pengamat, digunakan dalam sistem koordinat horisontal.

842. Astronomical Latitude

Lintang astronomis, ditentukan dari pengamatan bintang tetap, berbeda dengan lintang geografis.

843. Astronomical Longitude

Bujur astronomis, ditentukan dari pengamatan waktu universal dan waktu lokal.

844. Astronomical Refraction

Pembiasan cahaya benda langit oleh atmosfer Bumi, menyebabkan benda tampak lebih tinggi dari posisi sebenarnya.

845. Astronomical Seeing

Kualitas atmosfer yang mempengaruhi stabilitas citra benda langit dalam teleskop.

846. Astronomical Transit

Peristiwa benda langit melewati meridian pengamat, biasanya digunakan untuk menentukan waktu lokal.

847. Astronomical Culmination

Saat benda langit mencapai titik tertinggi di langit (upper culmination) atau terendah (lower culmination).

848. Astronomical Apparent Motion

Gerakan semu benda langit akibat rotasi dan revolusi Bumi.

849. Astronomical Parallax

Perbedaan posisi benda langit karena perbedaan posisi pengamat, digunakan dalam perhitungan jarak.

850. Astronomical Light Pollution

Polusi cahaya dari perkotaan yang mengurangi kemampuan pengamatan benda langit redup seperti hilal.

851. Astronomical Observation

Aktivitas mengamati benda langit secara visual atau dengan alat, digunakan dalam rukyat.

852. Astronomical Catalog

Daftar bintang atau benda langit beserta informasi posisi dan karakteristiknya.

853. Astronomical Database

Koleksi data astronomi yang tersimpan secara digital, digunakan dalam penelitian dan aplikasi falak.

854. Astronomical Algorithm

Metode perhitungan untuk menentukan posisi benda langit, seperti Almanak Ummul Qura.

855. Astronomical Calendar

Kalender berbasis siklus astronomi seperti bulan dan matahari, menjadi dasar penanggalan Hijriah.

856. Astronomical Event

Kejadian langit seperti gerhana, konjungsi, atau transit planet, sering menjadi perhatian dalam Astronomi.

857. Astronomical Calculation

Proses perhitungan posisi benda langit, digunakan dalam hisab untuk menentukan awal bulan hijriah.

858. Astronomical Software Library

Pustaka komputasi untuk perhitungan astronomi seperti **pyephem**, **skyfield**, dan **astropy**.

859. Astronomical Coordinate System

Sistem referensi untuk menentukan posisi benda langit, seperti sistem horisontal, ekuatorial, dan

ekliptika.

860. Astronomical Image Processing

Pemrosesan citra astronomi untuk meningkatkan kualitas dan mendeteksi objek redup seperti hilal.

[Bagian 28: Entri 861–880] – Huruf B (Lanjutan)

861. Binary Search

Algoritma pencarian cepat dalam data terurut, digunakan dalam pencarian waktu ijtimak dari database efemeris.

862. Blackbody Calibration

Kalibrasi instrumen astronomi menggunakan sumber cahaya hitam sempurna, meningkatkan akurasi pengamatan hilal.

863. Binary File

File berbasis biner untuk menyimpan data efemeris presisi tinggi, digunakan dalam aplikasi falak profesional.

864. Baseline Correction

Koreksi dasar dalam data astronomi untuk menghilangkan drift atau gangguan sistemik dalam pengamatan.

865. Backward Compatibility

Kemampuan software hisab tetap bekerja di versi lama, penting dalam sistem operasi lama di negara berkembang.

866. Base Module

Modul dasar dalam bahasa pemrograman, seperti **math** atau **datetime** dalam Python untuk perhitungan falak.

867. Bandwidth

Lebar pita frekuensi dalam sistem radio astronomi, digunakan dalam studi benda langit non-optik.

868. Base64 Encoding

Kode enkripsi base64 digunakan dalam pengiriman data efemeris aman via API.

869. Backpropagation

Metode pelatihan neural network digunakan dalam AI untuk deteksi otomatis hilal dari citra rukyat.

870. Barycentric Dynamic Time (TDB)

Skala waktu berbasis pusat massa tata surya, digunakan dalam efemeris presisi tinggi.

871. Bayesian Inference

Metode inferensi berbasis probabilitas untuk memprediksi visibilitas hilal dengan data historis.

872. Bias Adjustment

Penyesuaian nilai bias dalam data astronomi untuk mengurangi error sistemik.

873. Binary Image

Citra astronomi yang hanya memiliki dua warna (hitam/putih), digunakan dalam segmentasi citra hilal.

874. Besselian Elements

Parameter astronomi yang digunakan dalam prediksi gerhana yang presisi.

875. Bit Depth

Jumlah bit per piksel dalam citra astronomi, menentukan kedalaman warna dan sensitivitas pengamatan hilal.

876. Bilinear Interpolation

Interpolasi dua dimensi untuk meningkatkan resolusi citra astronomi.

877. Binocular Vision

Pengamatan hilal dengan kedua mata, meningkatkan kedalaman persepsi dan akurasi pengamatan.

878. Binning

Penggabungan piksel dalam kamera astronomi untuk meningkatkan sinyal dan mengurangi

noise.

879. Blind Deconvolution

Teknik memperbaiki kabur pada citra tanpa pengetahuan sebelumnya tentang PSF, digunakan dalam pengolahan citra hilal.

880. Baseline Measurement

Pengukuran dasar yang menjadi acuan dalam observasi astronomi dan hisab presisi tinggi.

[Bagian 29: Entri 881–900] – Huruf C (Lanjutan)

881. Concurrent Programming

Metode pemrograman untuk eksekusi paralel, digunakan dalam simulasi efemeris untuk banyak lokasi sekaligus.

882. Computational Geometry

Cabang ilmu komputer untuk analisis dan representasi geometris, digunakan dalam plot zona visibilitas hilal.

883. Convex Hull

Metode menghitung batas luar zona visibilitas hilal berdasarkan data astronomi.

884. Chromatic Aberration

Distorsi warna dalam lensa teleskop yang bisa mengurangi ketajaman citra hilal.

885. Color Correction

Koreksi warna dalam citra astronomi untuk menampilkan warna sebenarnya dari hilal dan latar belakang langit.

886. Ceiling Function

Fungsi pembulatan ke atas dalam Python, digunakan dalam pembulatan parameter visibilitas hilal.

887. Code Signing

Penandatanganan digital kode untuk memastikan integritas aplikasi hisab dan rukyat digital.

888. Code Profiling

Analisis performa program untuk optimasi algoritma prediksi visibilitas hilal.

889. Chebyshev Polynomial

Polinomial Chebyshev digunakan dalam interpolasi efemeris presisi untuk menentukan waktu ijtima.

890. Chaotic Orbit

Orbit benda langit yang sulit diprediksi, tidak relevan langsung dalam Astronomi tetapi penting dalam studi dinamika orbital.

891. Charge-Coupled Device (CCD)

Sensor kamera astronomi presisi tinggi, digunakan dalam rukyat digital untuk menangkap cahaya hilal.

892. Celestial Alignment

Penjajaran benda langit yang kadang dikaitkan dengan penanggalan Hijriah atau interpretasi Quranik.

893. Celestial Navigation

Navigasi berbasis langit, digunakan dalam menentukan arah kiblat dan waktu salat dalam situasi darurat.

894. Central Limit Theorem

Teorema statistik yang menyatakan bahwa rata-rata sampel besar akan berdistribusi normal, digunakan dalam analisis data visibilitas hilal.

895. Character Recognition

Teknik OCR untuk membaca laporan rukyatul hilal dalam format teks digital.

896. Chart Projection

Proyeksi peta untuk menampilkan zona visibilitas hilal secara akurat.

897. Channel Calibration

Kalibrasi saluran warna dalam citra astronomi untuk meningkatkan akurasi deteksi hilal.

898. Cluster Computing

Penggunaan cluster komputer untuk simulasi dan prediksi visibilitas hilal dalam skala besar.

899. Cross-tabulation

Tabel kontingensi untuk membandingkan data hisab dan rukyat dari berbagai wilayah.

900. Cubic Interpolation

Metode interpolasi berbasis fungsi kubik, digunakan dalam peningkatan resolusi efemeris Bulan.



[Bagian 30: Entri 901–920] – Huruf D (Lanjutan)

901. Dark Current Subtraction

Teknik penghapusan arus gelap dalam kamera astronomi, meningkatkan kualitas citra hilal.

902. Deep Sky Object (DSO)

Objek astronomi di luar tata surya seperti galaksi dan nebula, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi penting dalam astronomi umum.

903. Differential Imaging

Gambar perbedaan untuk mendeteksi perubahan halus dalam citra hilal dari waktu ke waktu.

904. Digitization

Proses mengubah data analog seperti catatan rukyat lama ke format digital untuk analisis komputer.

905. Digital Signal Processing (DSP)

Pemrosesan sinyal digital untuk meningkatkan kualitas dan deteksi cahaya hilal dalam kondisi buruk.

906. Data Archiving

Penyimpanan data astronomi untuk tujuan jangka panjang seperti data efemeris dan laporan rukyat.

907. Data Integration

Penggabungan data dari sumber berbeda seperti hisab dan rukyat untuk analisis komprehensif.

908. Data Compression

Pengurangan ukuran file data astronomi sambil tetap menjaga kualitas visibilitas hilal.

909. Data Encryption

Enkripsi data hasil hisab dan rukyat untuk perlindungan informasi sensitif.

910. Data Loss

Kehilangan data akibat korupsi atau kesalahan transfer, penting dalam pengelolaan data efemeris.

911. Data Recovery

Recovery atau pemulihan data historical rukyat yang rusak atau hilang selama digitalisasi.

912. Data Normalization

Penskalaan data astronomi agar sesuai dengan range standar, mempermudah perbandingan dan analisis.

913. Data Fusion

Penggabungan data dari berbagai sumber untuk meningkatkan akurasi prediksi visibilitas hilal.

914. Data Pipelining

Pipeline data untuk aliran data hisab hilal secara real-time dalam aplikasi mobile dan web.

915. Data Warehousing

Penyimpanan terpusat data astronomi untuk analisis prediksi awal bulan hijriah.

916. Data Mining Technique

Teknik penambangan data untuk menemukan pola dalam data visibilitas hilal dari puluhan tahun observasi.

917. Data Governance

Manajemen data yang baik untuk memastikan kualitas, keandalan, dan kepatuhan dalam data hisab dan rukyat.

918. Data Lake

Repositori besar untuk menyimpan data mentah dalam skala besar, seperti arsip data rukyat dan hisab historis.

919. Data Provenance

Riwayat asal-usul dan modifikasi data, penting dalam validasi hasil hisab dan rukyat.

920. Data Silo

Kumpulan data terisolasi yang tidak terintegrasi dengan sistem lain, tantangan dalam pengelolaan data rukyat nasional.

**[Bagian 31: Entri 921–940] – Huruf E (Lanjutan)****921. Ecliptic Reference Frame**

Sistem koordinat berdasarkan bidang ekliptika, digunakan dalam perhitungan efemeris presisi tinggi.

922. Eclipse Season

Musim gerhana yang terjadi dua kali setahun ketika simpul orbit Bulan berimpitan dengan Matahari.

923. Eclipse Predictive Model

Model matematis untuk memprediksi gerhana masa depan, relevan dalam studi kalender Hijriah historis.

924. Eclipse Path

Lintasan gerhana di Bumi, digunakan dalam studi historis dan prediksi fenomena langit.

925. Eclipse Duration

Durasi gerhana matahari atau bulan, menjadi bagian dari data astronomi yang relevan dalam penanggalan Hijriah.

926. Eclipse Saros Cycle

Siklus 18 tahun dalam ulang fenomena gerhana, digunakan dalam studi kalender dan prediksi gerhana historis.

927. Eclipse Mapping

Pemetaan lintasan dan zona visibilitas gerhana, digunakan dalam edukasi publik dan prediksi gerhana.

928. Eclipse Photometry

Pengukuran cahaya selama gerhana, digunakan dalam studi iluminasi Bulan dan Matahari.

929. Eclipse Timings

Waktu pasti gerhana untuk penanggalan dan prediksi fenomena langit dalam Astronomi.

930. Eccentric Anomaly

Sudut anomali yang digunakan dalam perhitungan orbit Bulan dan prediksi visibilitas hilal.

931. Ecliptic Pole

Kutub bidang ekliptika, menjadi acuan dalam sistem koordinat astronomi untuk prediksi hilal.

932. Ecliptic Plane

Bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari, menjadi dasar dalam sistem koordinat ekliptika.

933. Ecliptic Window

Jendela waktu dalam sistem penanggalan Hijriah untuk observasi hilal setelah konjungsi.

934. Earth-Based Coordinates

Sistem koordinat berbasis Bumi, relevan dalam perhitungan hisab dan rukyatul hilal.

935. Earth Orbital Period

Periode revolusi Bumi mengelilingi Matahari, penting dalam penentuan tahun Hijriah-Syamsiah.

936. Earth Tilt Angle

Kemiringan sumbu Bumi ($\sim 23,5^\circ$), menjadi penyebab musim dan variasi waktu siang/malam.

937. Earth Magnetic Field

Medan magnet Bumi yang mempengaruhi instrumen astronomi portabel dan sensor kompas.

938. Earth Rotation Vector

Vektor rotasi Bumi yang digunakan dalam transformasi koordinat presisi tinggi untuk hilal.

939. Earth Orientation Parameters (EOP)

Parameter yang menjelaskan orientasi Bumi relatif terhadap langit, penting dalam transformasi koordinat presisi tinggi.

940. Earth Nutation Table

Tabel nutasi Bumi yang digunakan dalam perhitungan astronomi presisi tinggi.

[Bagian 32: Entri 941–960] – Huruf F (Lanjutan)

941. False Positive

Hasil deteksi hilal palsu akibat gangguan atmosfer atau kesalahan observasi.

942. False Negative

Kegagalan mendeteksi hilal padahal seharusnya terdeteksi, penting dalam validasi kriteria visibilitas.

943. Feature Engineering

Proses ekstraksi fitur dari data astronomi untuk meningkatkan akurasi model AI dalam prediksi visibilitas hilal.

944. Feature Selection

Pemilihan parameter terpenting dalam prediksi visibilitas hilal, seperti ketinggian, elongasi, dan lag time.

945. Feedback Loop

Loop balikan dalam sistem hisab otomatis untuk memperbaiki akurasi prediksi berdasarkan data observasi harian.

946. Field of View (FOV) Calculation

Perhitungan sudut pandang teleskop untuk mencakup daerah ufuk barat tempat hilal biasanya terlihat.

947. Flux Calibration

Kalibrasi intensitas cahaya hilal untuk memperkirakan kecerahan dan visibilitasnya.

948. Floating Point Arithmetic

Aritmetika titik-mengambang dalam Python, digunakan dalam perhitungan presisi tinggi untuk hisab.

949. Flux Density Estimation

Estimasi kepadatan fluks cahaya hilal untuk menilai visibilitasnya secara kuantitatif.

950. Fourier Filtering

Pemfilteran frekuensi dalam citra hilal untuk meningkatkan kontras dan menghapus gangguan.

951. Fractional Julian Day

Bagian pecahan hari dalam Julian Day untuk penanggalan Hijriah presisi tinggi.

952. Focal Length

Panjang fokus teleskop yang menentukan pembesaran dan detail yang bisa dilihat dari hilal.

953. Focus Stacking

Penggabungan beberapa citra dengan fokus berbeda untuk meningkatkan ketajaman gambar hilal.

954. Forward Orbit Integration

Integrasi orbit maju untuk memprediksi posisi Bulan dan visibilitas hilal di masa depan.

955. Frame Rate Upscaling

Meningkatkan frame rate video astronomi untuk analisis gerakan hilal secara real-time.

956. Full Moon Phase

Fase bulan purnama, tidak langsung terkait dengan penanggalan Hijriah tetapi penting dalam studi perbandingan dengan bulan baru.

957. Field Study

Studi lapangan untuk menguji kriteria visibilitas hilal di berbagai lokasi pengamatan.

958. Flux Variability

Perubahan intensitas cahaya hilal akibat atmosfer dan kondisi lingkungan.

959. Flux Attenuation

Penurunan intensitas cahaya akibat penyerapan atmosfer, relevan dalam prediksi visibilitas hilal.

960. Frontier Science

Cabang ilmu pengetahuan yang belum mapan, seperti studi hubungan fenomena langit dengan ayat Al-Qur'an.

[Bagian 33: Entri 961–980] – Huruf G (Lanjutan)

961. Galactic North

Arah kutub utara galaksi Bima Sakti, digunakan dalam rujukan astronomi tingkat lanjut.

962. Galactic South

Arah kutub selatan galaksi Bima Sakti, digunakan dalam studi makrokosmos dan kosmologi Islam.

963. Galactic Core

Inti galaksi Bima Sakti, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi ayat yang menyebut "langit dan bumi".

964. Galactic Rotation

Rotasi galaksi Bima Sakti, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi kosmologi Islam.

965. Galactic Velocity

Kecepatan galaksi Bima Sakti relatif terhadap materi gelap, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi ayat tentang "gerak benda langit".

966. Galactic Redshift

Pergeseran merah akibat gerakan galaksi menjauh, tidak langsung terkait dengan Astronomi tetapi relevan dalam studi kosmologi Islam.

967. Galactic Blueshift

Pergeseran biru akibat gerakan galaksi mendekat, relevan dalam studi ayat tentang gerak benda langit.

968. Galactic Coordinates (Galactic Long/Lat)

Sistem koordinat berdasarkan bidang galaksi Bima Sakti, digunakan dalam studi astronomi tingkat lanjut terkait ayat Quranik.

969. Galactic Plane

Bidang utama galaksi Bima Sakti, menjadi dasar dalam studi makroskopis dan penafsiran ayat kosmik.

970. Galactic Halo

Area luar galaksi yang mengandung materi gelap, relevan dalam studi ayat tentang "langit yang tujuh".

971. Galactic Dynamics

Studi dinamika gerak galaksi, relevan dalam studi kosmologi Islam dan ayat tentang langit bergerak.

972. Galactic Drift

Pergerakan bintang relatif terhadap pengamat, relevan dalam studi ayat tentang 'ketidakkonsistenan' dalam langit.

973. Galactic Distance

Jarak dari pengamat ke inti galaksi, digunakan dalam studi metafisik tentang posisi manusia di alam semesta.

974. Galactic Imagery

Gambar galaksi yang digunakan dalam edukasi publik tentang ayat-ayat kosmik dan rukyatul ayat.

975. Galactic Structure

Struktur spiral galaksi Bima Sakti, relevan dalam studi filosofis tentang ayat-ayat kosmik.

976. Galactic Center

Pusat Bima Sakti, digunakan dalam studi metafisik tentang arah dan makna spiritual dalam ayat-ayat Kosmik.

977. Galactic Rotation Curve

Kurva rotasi galaksi yang menunjukkan distribusi massa, relevan dalam studi ayat tentang keteraturan langit.

978. Galactic Spiral Arms

Lengan spiral galaksi Bima Sakti, relevan dalam studi ayat tentang langit berlapis dan gerakan teratur.

979. Galactic Disk

Cakram galaksi tempat Tata Surya berada, relevan dalam studi makrokosmos dan ayat tentang langit terbentuk.

980. Galactic Cluster

Gugus bintang dalam galaksi, digunakan dalam studi ayat tentang keajaiban penciptaan langit.

**[Bagian 34: Entri 981–1000] – Huruf H (Lanjutan)****981. Hijri Date Computation**

Perhitungan tanggal Hijriah berdasarkan hisab presisi tinggi dan data astronomi.

982. Hijri Date Format

Format penyimpanan tanggal Hijriah dalam sistem digital, seperti YYYY-MM-DD-Hijri.

983. Hijri Date Converter (API)

Antarmuka program aplikasi untuk mengubah tanggal Gregorian ke Hijriah dalam sistem digital.

984. Hijri Date Localization

Penyesuaian tanggal Hijriah berdasarkan lokasi pengamatan, untuk sinkronisasi global dan lokal.

985. Hijri Date Synchronization

Sinkronisasi tanggal Hijriah antara negara-negara Islam untuk keseragaman ibadah.

986. Hijri Date Aggregation

Penggabungan data tanggal Hijriah dari berbagai sumber untuk analisis nasional dan global.

987. Hijri Date Analytics

Analisis data tanggal Hijriah untuk studi tren keagamaan dan sosial berbasis waktu.

988. Hijri Date Validation

Validasi data tanggal Hijriah untuk memastikan konsistensi antara hisab dan rukyat dari tahun ke tahun.

989. Hijri Date Forecast

Prediksi tanggal Hijriah berdasarkan model hisab dan efemeris presisi tinggi.

990. Hijri Date Lookup Table

Tabel pencarian cepat untuk konversi tanggal antara Hijriah dan Gregorian dalam pengembangan software.

991. Hijri Date API

Sistem layanan daring untuk mengakses data penanggalan Hijriah secara real-time.

992. Hijri Date Web Service

Layanan daring untuk konversi tanggal Hijriah dan Masehi secara massal.

993. Hijri Date Machine Learning

Pemanfaatan AI untuk memprediksi tanggal Hijriah berdasarkan data historis dan astronomi.

994. Hijri Date Deep Learning

Penggunaan deep learning untuk memodelkan visibilitas hilal secara otomatis dari citra.

995. Hijri Date NLP

Pemrosesan bahasa alami untuk ekstraksi dan analisis data rukyat dari laporan teks.

996. Hijri Date GIS Integration

Integrasi data Hijriah dengan Geographic Information System untuk analisis regional visibilitas hilal.

997. Hijri Date Time Series Analysis

Analisis data Hijriah dalam seri waktu untuk memodelkan periode dan tren kalender.

998. Hijri Date Edge Computing

Pemrosesan data tanggal Hijriah di perangkat edge untuk prediksi real-time visibilitas hilal.

999. Hijri Date Big Data

Pemanfaatan big data dalam memproses laporan rukyat dan hisab dari puluhan ribu lokasi.

1000. Hijri Date Blockchain

Penggunaan blockchain untuk memastikan integritas data dan sinkronisasi tanggal Hijriah global.

[Bagian 35: Entri 1001–1020] – Huruf I

1001. **ijtimak**
Konjungsi bulan dengan matahari, yaitu saat bulan berada segaris lurus antara bumi dan matahari.
1002. **ijtimak Calculation**
Perhitungan waktu ijtimak menggunakan data astronomi presisi tinggi untuk penentuan awal bulan Hijriah.
1003. **ijtimak Visibility Prediction**
Prediksi kapan dan di mana ijtimak dapat diamati secara visual atau melalui perangkat lunak astronomi.
1004. **Ijtihad in Calendar Determination**
Penggunaan ijtihad oleh ulama dalam menetapkan tanggal Hijriah ketika rukyat dan hisab tidak memberikan kepastian.
1005. **Ilmu Hisab**
Cabang ilmu yang mempelajari perhitungan gerakan langit untuk menentukan awal bulan Hijriah.
1006. **Ilmu Falak**
Disiplin ilmu yang mempelajari posisi dan gerak benda-benda langit, terutama digunakan dalam penanggalan Hijriah.
1007. **Imkanur Rukyat**
Kondisi minimal visibilitas hilal agar bisa dirukyat secara fisik, digunakan sebagai parameter dalam penentuan awal bulan.
1008. **Imkanur Rukyat Table (IRT)**
Tabel referensi yang menunjukkan apakah hilal dapat dirukyat di suatu lokasi berdasarkan parameter astronomis.
1009. **Imkanur Rukyat Criteria**
Standar kriteria internasional atau nasional yang digunakan untuk menilai kemungkinan rukyat hilal.
1010. **Imkanur Rukyat Map**
Peta digital yang menampilkan wilayah-wilayah di dunia yang memenuhi syarat imkanur rukyat pada hari tertentu.
1011. **Imkanur Rukyat Algorithm**
Algoritma komputer untuk mengevaluasi apakah hilal dapat dilihat berdasarkan data astronomi dan kondisi atmosfer.
1012. **Imkanur Rukyat Database**
Basis data yang menyimpan hasil evaluasi imkanur rukyat dari tahun ke tahun untuk analisis historis dan prediktif.
1013. **Imkanur Rukyat GIS Layer**
Lapisan peta GIS yang menampilkan zona-zona geografis berdasarkan kemungkinan rukyat hilal.
1014. **Imkanur Rukyat Forecasting**
Prediksi masa depan tentang kemungkinan rukyat hilal di berbagai lokasi menggunakan

- model astronomi.
- 1015. Imkanur Rukyat Validation
Proses verifikasi kesesuaian antara prediksi imkanur rukyat dan laporan observasi nyata.
 - 1016. Imkanur Rukyat Machine Learning Model
Model pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi prediksi imkanur rukyat dari tahun ke tahun.
 - 1017. Imkanur Rukyat Mobile App
Aplikasi mobile yang membantu pengguna mengetahui apakah hilal bisa dirukyat di lokasi mereka.
 - 1018. Imkanur Rukyat API
Antarmuka program aplikasi untuk mendapatkan informasi imkanur rukyat secara real-time berdasarkan lokasi.
 - 1019. Imkanur Rukyat Dashboard
Sistem dashboard berbasis web yang menampilkan informasi imkanur rukyat secara global dan interaktif.
 - 1020. Imkanur Rukyat Integration with Muwajjah
Integrasi sistem imkanur rukyat dengan arah kiblat otomatis untuk penyesuaian waktu dan arah ibadah.

[Bagian 36: Entri 1021–1040] – Huruf J

- 1021. **Jadwal Ibadah Digital**
Kalender digital berbasis Hijriah yang mencakup jadwal puasa, shalat, dan hari besar Islam.
- 1022. **Jadwal Puasa Otomatis**
Sistem digital yang secara otomatis menampilkan jadwal puasa Ramadhan berdasarkan lokasi pengguna.
- 1023. **Jadwal Salat Hijriah**
Penyesuaian waktu salat harian berdasarkan kalender Hijriah dan data astronomi lokal.
- 1024. **Jadwal Hari Besar Islam**
Daftar tanggal perayaan besar Islam seperti Idul Fitri, Idul Adha, dan Asyura berdasarkan kalender Hijriah.
- 1025. **Jadwal Awal Bulan Hijriah**
Kalender elektronik yang menampilkan tanggal-tanggal awal bulan Hijriah secara global.
- 1026. **Jadwal Penentuan Hilal**
Jadwal pelaksanaan rukyatul hilal di berbagai negara untuk koordinasi ibadah.
- 1027. **Jadwal Hisab Nasional**
Kalender nasional yang dibuat berdasarkan metode hisab resmi dari institusi agama setempat.
- 1028. **Jadwal Rukyat Global**
Informasi jadwal pelaksanaan rukyat di seluruh dunia untuk sinkronisasi penanggalan.
- 1029. **Jadwal Ibadah Interoperable**
Sistem jadwal ibadah yang dapat diintegrasikan dengan aplikasi lain seperti Google Calendar atau Outlook.
- 1030. **Jadwal Ibadah Multilingual**
Kalender ibadah yang tersedia dalam berbagai bahasa untuk pengguna global.
- 1031. **Jadwal Ibadah Offline**
Versi jadwal ibadah yang dapat diakses tanpa koneksi internet, biasanya dalam bentuk aplikasi mobile.
- 1032. **Jadwal Ibadah Real-Time**
Kalender yang menyesuaikan waktunya secara langsung berdasarkan lokasi dan

- perubahan musim.
1033. **Jadwal Ibadah AI-Powered**
Kalender cerdas yang menggunakan AI untuk menyesuaikan dan mengirimkan notifikasi jadwal ibadah.
 1034. **Jadwal Ibadah Voice Assistant**
Fungsi kalender ibadah yang terintegrasi dengan asisten suara seperti Alexa atau Google Assistant.
 1035. **Jadwal Ibadah Wearable Device**
Kompatibilitas jadwal ibadah dengan perangkat wearable seperti smartwatch untuk kemudahan akses.
 1036. **Jadwal Ibadah Blockchain**
Penyimpanan jadwal ibadah secara terdesentralisasi untuk menjaga integritas dan sinkronisasi global.
 1037. **Jadwal Ibadah IoT-Enabled**
Kalender ibadah yang terhubung dengan perangkat Internet of Things untuk notifikasi otomatis.
 1038. **Jadwal Ibadah Smart Home Integration**
Integrasi jadwal ibadah dengan sistem rumah pintar untuk pengaturan lampu, alarm, dan notifikasi.
 1039. **Jadwal Ibadah Gamification**
Fitur motivasi dalam kalender ibadah yang menggunakan konsep game untuk meningkatkan kedisiplinan ibadah.
 1040. **Jadwal Ibadah Family Sync**
Fungsi sinkronisasi jadwal ibadah keluarga dalam satu sistem digital untuk koordinasi bersama.

[Bagian 37: Entri 1041–1060] – Huruf K

1041. **Kalender Hijriah Digital**
Sistem kalender berbasis digital yang menggunakan penanggalan Hijriah untuk aplikasi modern.
1042. **Kalender Hijriah Tercetak**
Kalender Hijriah dalam bentuk fisik yang digunakan untuk keperluan administratif dan keagamaan.
1043. **Kalender Hijriah Interoperable**
Kalender Hijriah yang dapat diintegrasikan dengan sistem penanggalan Masehi dan aplikasi digital lainnya.
1044. **Kalender Hijriah Global**
Kalender Hijriah yang disesuaikan untuk pengguna di seluruh dunia dengan berbagai zona waktu.
1045. **Kalender Hijriah Lokal**
Kalender Hijriah yang disesuaikan dengan lokasi geografis spesifik untuk keperluan ibadah lokal.
1046. **Kalender Hijriah Aplikasi Mobile**
Aplikasi berbasis smartphone yang menampilkan penanggalan Hijriah dan fitur pendukungnya.
1047. **Kalender Hijriah Web-based**
Kalender Hijriah yang dapat diakses melalui browser web dan diperbarui secara daring.
1048. **Kalender Hijriah Embedded System**
Kalender Hijriah yang diimplementasikan dalam perangkat keras seperti jam dinding digital atau alat ibadah elektronik.
1049. **Kalender Hijriah AI-Driven**

- Kalender yang menggunakan AI untuk menyesuaikan tampilan dan notifikasi berdasarkan kebiasaan pengguna.
- 1050. Kalender Hijriah Cloud Storage
Penyimpanan data kalender Hijriah di cloud untuk akses lintas perangkat dan sinkronisasi waktu nyata.
 - 1051. Kalender Hijriah Multi-Zone
Kalender yang menampilkan waktu Hijriah berbeda untuk beberapa zona waktu dalam satu tampilan.
 - 1052. Kalender Hijriah untuk Pendidikan
Kalender edukatif yang membantu siswa belajar tentang bulan-bulan Hijriah dan maknanya.
 - 1053. Kalender Hijriah untuk Bisnis
Kalender bisnis yang menyertakan hari besar Islam untuk perencanaan aktivitas perusahaan.
 - 1054. Kalender Hijriah untuk Pemerintahan
Kalender resmi yang digunakan instansi pemerintah untuk perencanaan acara dan libur nasional.
 - 1055. Kalender Hijriah untuk Perbankan Syariah
Kalender yang digunakan bank syariah untuk mengatur jadwal transaksi sesuai penanggalan Hijriah.
 - 1056. Kalender Hijriah untuk Kesehatan Mental
Kalender yang membantu individu merencanakan kegiatan spiritual dan istirahat berdasarkan ritme Hijriah.
 - 1057. Kalender Hijriah untuk Pengembangan Diri
Kalender yang membantu pengguna dalam menetapkan target dan refleksi bulanan berdasarkan nilai-nilai Islam.
 - 1058. Kalender Hijriah untuk Komunitas Muslim Dunia
Platform kalender yang digunakan komunitas Muslim global untuk sinkronisasi ibadah dan kegiatan.
 - 1059. Kalender Hijriah untuk Event Organizer
Kalender khusus untuk penyelenggara acara yang ingin menyelaraskan event dengan penanggalan Hijriah.
 - 1060. Kalender Hijriah untuk Aplikasi Media Sosial
Fitur kalender Hijriah dalam platform media sosial untuk meningkatkan partisipasi pengguna pada hari besar Islam.

[Bagian 38: Entri 1061–1080] – Huruf L

- 1061. Laporan Observasi Hilal
Dokumen resmi yang mencatat hasil pengamatan hilal di suatu wilayah untuk keperluan penentuan awal bulan.
- 1062. Laporan Observasi Hilal Digital
Versi digital dari laporan observasi hilal yang dikumpulkan secara daring dari berbagai lokasi.
- 1063. Laporan Observasi Hilal Terstruktur
Format laporan observasi hilal yang telah distandarkan untuk memudahkan analisis dan validasi.
- 1064. Laporan Observasi Hilal Nasional
Kompilasi laporan observasi dari seluruh wilayah Indonesia atau negara lain untuk penentuan awal bulan.
- 1065. Laporan Observasi Hilal Global

- Data kolektif laporan observasi hilal dari berbagai negara untuk sinkronisasi penanggalan Hijriah internasional.
- 1066. Laporan Observasi Hilal API
Sistem daring untuk mengirimkan dan menerima laporan observasi hilal secara real-time.
 - 1067. Laporan Observasi Hilal GIS Mapping
Visualisasi laporan observasi hilal dalam bentuk peta digital berbasis GIS.
 - 1068. Laporan Observasi Hilal Big Data
Pengolahan data besar dari laporan observasi hilal untuk analisis tren dan prediksi.
 - 1069. Laporan Observasi Hilal NLP Processing
Pemrosesan teks laporan observasi hilal menggunakan Natural Language Processing untuk ekstraksi informasi otomatis.
 - 1070. Laporan Observasi Hilal Validation Engine
Mesin validasi otomatis untuk memastikan keabsahan laporan observasi hilal dari sumber-sumber berbeda.
 - 1071. Laporan Observasi Hilal Blockchain
Penyimpanan laporan observasi hilal dalam blockchain untuk menjaga integritas dan transparansi data.
 - 1072. Laporan Observasi Hilal Machine Learning
Model AI untuk mengklasifikasikan dan memprediksi keberhasilan rukyat dari laporan observasi.
 - 1073. Laporan Observasi Hilal Dashboard
Sistem dashboard interaktif yang menampilkan laporan observasi hilal secara real-time dari berbagai lokasi.
 - 1074. Laporan Observasi Hilal Mobile App
Aplikasi mobile untuk mengirimkan dan menerima laporan observasi hilal secara langsung.
 - 1075. Laporan Observasi Hilal SMS Gateway
Sistem pelaporan hilal melalui pesan singkat (SMS) untuk daerah dengan keterbatasan internet.
 - 1076. Laporan Observasi Hilal Email Reporting
Pengiriman laporan observasi melalui surel sebagai alternatif pelaporan daring.
 - 1077. Laporan Observasi Hilal CSV Export
Ekspor data laporan observasi hilal dalam format CSV untuk analisis lanjutan.
 - 1078. Laporan Observasi Hilal PDF Report Generator
Sistem otomatis untuk membuat laporan PDF resmi dari data observasi hilal.
 - 1079. Laporan Observasi Hilal Timeline Analysis
Analisis garis waktu keberhasilan rukyat dari tahun ke tahun berdasarkan laporan observasi.
 - 1080. Laporan Observasi Hilal Anomaly Detection
Deteksi anomali dalam laporan observasi untuk identifikasi data yang tidak konsisten atau tidak valid.

 [Bagian 39: Entri 1081–1100] – Huruf M

- 1081. MoonCalc Algorithm
Algoritma astronomi yang digunakan untuk menghitung posisi bulan dan visibilitas hilal

- secara presisi tinggi.
1082. Moon Visibility Curve
Grafik kurva yang menunjukkan peluang visibilitas hilal di berbagai lintang dan bujur pada hari tertentu.
 1083. Moon Phase API
Antarmuka program aplikasi untuk mendapatkan data fase bulan secara real-time dalam penanggalan Hijriah.
 1084. Moon Phase Visualization
Visualisasi digital dari fase bulan yang membantu dalam memahami proses terbentuknya hilal.
 1085. Moon Phase Mobile App
Aplikasi mobile yang menampilkan fase bulan dan informasi rukyat secara real-time berdasarkan lokasi pengguna.
 1086. Moon Phase Dashboard
Sistem dashboard interaktif yang menampilkan fase bulan, ijtimak, dan prediksi visibilitas hilal secara global.
 1087. Moon Phase GIS Mapping
Peta digital berbasis sistem informasi geografis yang menampilkan kondisi visibilitas bulan di berbagai wilayah.
 1088. Moon Phase Machine Learning Model
Model pembelajaran mesin yang memprediksi visibilitas hilal berdasarkan data historis fase bulan dan cuaca.
 1089. Moon Phase Big Data Analytics
Analisis data besar tentang fase bulan untuk meningkatkan akurasi penanggalan Hijriah jangka panjang.
 1090. Moon Phase Forecasting System
Sistem peramalan fase bulan untuk keperluan penentuan awal bulan Hijriah di masa depan.
 1091. Moon Phase Validation Engine
Mesin validasi otomatis untuk memastikan kesesuaian antara prediksi fase bulan dan observasi nyata.
 1092. Moon Phase Time Series Database
Basis data seri waktu yang menyimpan rekaman fase bulan selama bertahun-tahun untuk analisis tren.
 1093. Moon Phase Alert System
Sistem notifikasi yang memberikan peringatan ketika bulan mencapai fase kritis seperti ijtimak atau hilal.
 1094. Moon Phase Cloud Integration
Integrasi data fase bulan dengan layanan cloud computing untuk akses global dan sinkronisasi real-time.
 1095. Moon Phase IoT Device
Perangkat IoT yang menampilkan fase bulan secara langsung untuk keperluan ibadah dan edukasi.
 1096. Moon Phase Augmented Reality (AR)
Teknologi AR yang menampilkan posisi bulan dan fase saat ini melalui kamera smartphone.
 1097. Moon Phase Educational Module
Modul pendidikan interaktif yang menjelaskan siklus bulan dan hubungannya dengan penanggalan Hijriah.
 1098. Moon Phase API for Developers
API khusus bagi pengembang aplikasi untuk mengintegrasikan data fase bulan dalam

- produk digital mereka.
1099. Moon Phase Simulation Software
Perangkat lunak simulasi untuk memvisualisasikan fase bulan dan visibilitas hilal secara akurat.
1100. Moon Phase Community Reporting
Platform daring tempat komunitas Muslim dapat melaporkan pengamatan fase bulan mereka secara kolektif.

 [Bagian 40: Entri 1101–1120] – Huruf N

1101. Nautical Twilight in Rukyat
Waktu fajar maritim sebagai parameter penting dalam penentuan visibilitas hilal.
1102. New Moon Calculation
Perhitungan waktu bulan baru (ijtimak) menggunakan data astronomi presisi tinggi.
1103. New Moon Visibility Threshold
Ambang batas minimal visibilitas hilal agar bisa diamati secara visual setelah bulan baru.
1104. New Moon Prediction System
Sistem prediksi waktu bulan baru dan visibilitas hilal berdasarkan model hisab presisi tinggi.
1105. New Moon Notification Service
Layanan notifikasi yang memberitahu umat Islam tentang waktu bulan baru dan visibilitas hilal.
1106. New Moon GIS Layer
Lapisan peta GIS yang menampilkan zona-zona geografis di mana bulan baru dapat dilihat.
1107. New Moon Big Data Platform
Platform berbasis big data yang menyimpan dan menganalisis data bulan baru dari tahun ke tahun.
1108. New Moon Deep Learning Model
Model deep learning yang memprediksi visibilitas bulan baru berdasarkan data citra langit dan atmosfer.
1109. New Moon Blockchain Registry
Penyimpanan data bulan baru dalam blockchain untuk transparansi dan sinkronisasi global.
1110. New Moon Mobile Application
Aplikasi mobile yang memberikan informasi waktu bulan baru dan visibilitas hilal secara real-time.
1111. New Moon SMS Alert
Notifikasi bulan baru melalui pesan singkat (SMS) untuk daerah dengan keterbatasan internet.
1112. New Moon Email Notification
Pengiriman informasi bulan baru melalui surel kepada lembaga agama, masjid, dan individu.
1113. New Moon CSV Export
Ekspor data bulan baru dalam format CSV untuk digunakan dalam analisis statistik dan laporan.
1114. New Moon PDF Report Generator
Sistem otomatis yang menghasilkan laporan PDF resmi tentang waktu bulan baru dan visibilitas hilal.
1115. New Moon Timeline Analysis
Analisis garis waktu bulan baru dari tahun ke tahun untuk memahami pola visibilitas dan variasi kalender.

- 1116. New Moon Anomaly Detection
Deteksi anomali dalam data bulan baru untuk identifikasi inkonsistensi atau gangguan astronomis.
- 1117. New Moon Forecast Accuracy Index
Indeks akurasi prediksi bulan baru yang digunakan untuk mengevaluasi performa sistem hisab.
- 1118. New Moon Community Observation Network
Jaringan pengamat hilal yang saling berbagi data dan laporan pengamatan bulan baru secara kolaboratif.
- 1119. New Moon Satellite Imaging
Pemanfaatan citra satelit untuk mendeteksi dan menganalisis visibilitas bulan baru secara otomatis.
- 1120. New Moon AI Assistant
Asisten cerdas berbasis AI yang memberikan informasi dan notifikasi tentang bulan baru sesuai lokasi pengguna.

 [Bagian 41: Entri 1121–1140] – Huruf O

- 1121. Observation Station Network
Jaringan stasiun pengamatan hilal yang tersebar di berbagai wilayah untuk pelaporan bersama.
- 1122. Observation Station GIS Mapping
Peta digital yang menampilkan lokasi stasiun pengamatan hilal secara nasional dan internasional.
- 1123. Observation Station Mobile Unit
Unit bergerak untuk pengamatan hilal yang dilengkapi teleskop dan sistem pelaporan digital.
- 1124. Observation Station Live Streaming
Siaran langsung dari stasiun pengamatan hilal untuk transparansi dan partisipasi publik.
- 1125. Observation Station Weather Integration
Integrasi data cuaca lokal ke dalam sistem stasiun pengamatan untuk menilai kemungkinan rukyat.
- 1126. Observation Station Telemetry Data
Data pengukuran jarak jauh dari stasiun pengamatan hilal untuk analisis akademis dan teknis.
- 1127. Observation Station API Access
Akses API untuk mengambil data mentah dari stasiun pengamatan hilal secara real-time.
- 1128. Observation Station Image Repository
Arsip gambar hasil pengamatan hilal dari berbagai stasiun untuk dokumentasi dan analisis lanjutan.
- 1129. Observation Station Calibration Tools
Instrumen dan alat kalibrasi untuk memastikan akurasi alat pengamatan di semua stasiun.
- 1130. Observation Station Training Program
Program pelatihan bagi petugas dan relawan untuk menjadi pengamat hilal yang andal.
- 1131. Observation Station Certification Standard
Standar sertifikasi stasiun pengamatan hilal untuk menjaga kualitas dan kredibilitas laporan.
- 1132. Observation Station Drone Support
Pemanfaatan drone untuk pengambilan gambar udara dan analisis visibilitas hilal dari sudut tinggi.

1133. Observation Station Solar Tracking
Sistem pelacakan matahari yang digunakan untuk menentukan arah dan waktu optimal pengamatan hilal.
1134. Observation Station Night Vision Equipment
Peralatan visi malam untuk membantu pengamatan hilal dalam kondisi cahaya redup.
1135. Observation Station Real-Time Dashboard
Dasbor digital yang menampilkan data pengamatan hilal secara langsung dari berbagai stasiun.
1136. Observation Station Archive System
Sistem penyimpanan arsip laporan pengamatan hilal untuk referensi historis dan riset ilmiah.
1137. Observation Station Public Access Portal
Portal daring yang memberikan akses publik ke laporan dan data pengamatan hilal.
1138. Observation Station Volunteer Network
Komunitas sukarelawan yang aktif dalam pengamatan dan pelaporan hilal di berbagai wilayah.
1139. Observation Station Quality Assurance
Proses jaminan mutu untuk memastikan keandalan data dan laporan dari semua stasiun pengamatan.
1140. Observation Station Disaster Recovery Plan
Rencana pemulihan bencana untuk menjaga kontinuitas operasi stasiun pengamatan hilal dalam situasi darurat.

 [Bagian 42: Entri 1141–1160] – Huruf P

1141. Penanggalan Hijriah Presisi Tinggi
Sistem penanggalan Hijriah yang dikembangkan dengan metode astronomi presisi tinggi untuk akurasi global.
1142. Penanggalan Hijriah Terpadu
Sistem penanggalan yang menyatukan pendekatan hisab dan rukyat untuk keseragaman ibadah di seluruh dunia.
1143. Penanggalan Hijriah Nasional
Kalender resmi yang digunakan oleh suatu negara berdasarkan metode hisab atau rukyat nasional.
1144. Penanggalan Hijriah Internasional
Standar kalender Hijriah yang diterima secara internasional untuk sinkronisasi ibadah umat Islam global.
1145. Penanggalan Hijriah Berbasis AI
Pemanfaatan kecerdasan buatan untuk memprediksi dan menyesuaikan tanggal Hijriah secara otomatis.
1146. Penanggalan Hijriah dalam Sistem Informasi
Integrasi kalender Hijriah ke dalam sistem informasi pemerintahan, pendidikan, dan bisnis.
1147. Penanggalan Hijriah dalam Aplikasi Mobile
Aplikasi smartphone yang menggunakan penanggalan Hijriah untuk jadwal ibadah dan notifikasi harian.
1148. Penanggalan Hijriah dalam Sistem Operasi
Dukungan sistem operasi terhadap penanggalan Hijriah, seperti pada Windows, macOS, dan Linux.
1149. Penanggalan Hijriah dalam Perangkat Lunak Office
Kompatibilitas kalender Hijriah dalam aplikasi perkantoran seperti Microsoft Word, Excel, dan Google Sheets.

1150. Penanggalan Hijriah dalam Email Server
Kemampuan server email untuk menampilkan dan mengelola waktu berdasarkan penanggalan Hijriah.
1151. Penanggalan Hijriah dalam Database Engine
Dukungan basis data terhadap penyimpanan dan pengolahan tanggal berformat Hijriah.
1152. Penanggalan Hijriah dalam Sistem Akademik
Penggunaan kalender Hijriah dalam perencanaan tahun ajaran, ujian, dan libur sekolah/madrasah.
1153. Penanggalan Hijriah dalam Sistem Pemerintahan
Penerapan kalender Hijriah dalam agenda kenegaraan, cuti bersama, dan hari besar nasional.
1154. Penanggalan Hijriah dalam Industri Perbankan
Penggunaan kalender Hijriah dalam penjadwalan transaksi dan produk syariah di sektor keuangan.
1155. Penanggalan Hijriah dalam Manajemen Proyek
Penerapan kalender Hijriah dalam perencanaan proyek berbasis waktu untuk organisasi Islam.
1156. Penanggalan Hijriah dalam E-Government
Integrasi kalender Hijriah dalam layanan publik daring untuk meningkatkan relevansi budaya dan agama.
1157. Penanggalan Hijriah dalam Platform Media Sosial
Fitur kalender Hijriah dalam media sosial untuk notifikasi dan interaksi berbasis hari besar Islam.
1158. Penanggalan Hijriah dalam Sistem Kesehatan
Pendokumentasian rekam medis dan jadwal konsultasi berdasarkan penanggalan Hijriah.
1159. Penanggalan Hijriah dalam Aplikasi Ibadah
Platform digital yang menampilkan penanggalan Hijriah untuk puasa, dzikir, tilawah, dan doa harian.
1160. Penanggalan Hijriah dalam Sistem Peningkat Digital
Notifikasi berbasis waktu Hijriah dalam smart speaker, smartwatch, dan asisten virtual.

 [Bagian 43: Entri 1161–1180] – Huruf Q

1161. Qamus al-Tawqi't (Kamus Waktu)
Ensiklopedia istilah-istilah waktu dan penanggalan dalam konteks Hijriah dan Masehi.
1162. Qaedah al-Rukyat (Prinsip Rukyat)
Himpunan prinsip dasar yang digunakan dalam pelaksanaan dan validasi rukyat hilal.
1163. Qaedah al-Hisab (Prinsip Hisab)
Kumpulan aturan astronomi yang digunakan dalam perhitungan penanggalan Hijriah secara matematis.
1164. Qism al-Taqwin (Divisi Penanggalan)
Unit kerja dalam lembaga agama atau pemerintah yang bertugas mengelola penanggalan Hijriah.
1165. Qism al-Falak wa al-Rukyat (Divisi Ilmu Falak dan Rukyat)
Departemen yang mengkaji dan melaksanakan penanggalan Hijriah berdasarkan metode ilmiah dan tradisional.
1166. Qism al-Mawaqit (Divisi Waktu Ibadah)
Bagian yang bertugas menentukan waktu-waktu ibadah berdasarkan penanggalan Hijriah dan posisi matahari/bulan.
1167. Qism al-Taqwin Digital (Divisi Penanggalan Digital)
Sub-bagian yang fokus pada integrasi kalender Hijriah dalam sistem digital dan teknologi

- informasi.
- 1168. Qism al-Taqrir al-Rusumiyah (Divisi Laporan Resmi)
Unit yang mengumpulkan, memvalidasi, dan menerbitkan laporan resmi tentang penanggalan Hijriah.
 - 1169. Qism al-Taqrir al-Muraqibin (Divisi Laporan Pengamat)
Kelompok yang mengkoordinasi dan mengevaluasi laporan hasil pengamatan hilal dari para mu'min rukyat.
 - 1170. Qism al-Taqwin al-Musyarak (Divisi Penanggalan Bersama)
Lembaga antar-negara yang bekerja sama untuk menyeragamkan penanggalan Hijriah secara internasional.
 - 1171. Qism al-Taqrir al-Dawry (Divisi Laporan Berkala)
Bagian yang membuat laporan berkala tentang ketepatan prediksi dan observasi awal bulan.
 - 1172. Qism al-Taqrir al-Mushtarak (Divisi Laporan Bersama)
Tim yang menyusun laporan kolaboratif antara institusi agama, sains, dan teknologi terkait penanggalan Hijriah.
 - 1173. Qism al-Taqrir al-Maftuh (Divisi Laporan Terbuka)
Unit yang menyediakan laporan penanggalan Hijriah secara terbuka untuk transparansi dan partisipasi publik.
 - 1174. Qism al-Taqrir al-Maftuh Digital (Divisi Laporan Terbuka Digital)
Sistem daring yang menyediakan akses ke laporan penanggalan Hijriah secara real-time dan lintas platform.
 - 1175. Qism al-Taqrir al-Mutaqaddim (Divisi Laporan Lanjutan)
Kelompok riset yang menganalisis data historis dan tren penanggalan Hijriah untuk pemutakhiran metode.
 - 1176. Qism al-Taqrir al-Tijari (Divisi Laporan Komersial)
Bagian yang menyediakan layanan penanggalan Hijriah untuk sektor bisnis dan industri.
 - 1177. Qism al-Taqrir al-Akademiy (Divisi Laporan Akademik)
Unit yang menghasilkan publikasi ilmiah dan studi akademik tentang penanggalan Hijriah.
 - 1178. Qism al-Taqrir al-ijtimakiy (Divisi Laporan Sosial)
Kelompok yang meneliti dampak sosial dari perbedaan penanggalan Hijriah dan cara menyatukannya.
 - 1179. Qism al-Taqrir al-Fiqhiy (Divisi Laporan Fiqih)
Bagian yang memberikan rekomendasi fiqih terkait masalah penanggalan Hijriah dan praktik ibadah.
 - 1180. Qism al-Taqrir al-Kharithiyyah (Divisi Laporan Geografis)
Tim yang menghubungkan data penanggalan Hijriah dengan analisis geografis dan zona waktu.

 [Bagian 44: Entri 1181–1200] – Huruf R

- 1181. Rukyatul Hilal Nasional
Pelaksanaan pengamatan hilal secara nasional yang dilakukan oleh lembaga agama dan astronomi resmi.
- 1182. Rukyatul Hilal Internasional
Koordinasi pengamatan hilal antarnegara untuk sinkronisasi ibadah global.
- 1183. Rukyatul Hilal Lokal
Pengamatan hilal yang dilakukan di tingkat daerah atau komunitas lokal.
- 1184. Rukyatul Hilal Berbasis Komunitas
Partisipasi aktif masyarakat dalam pelaksanaan dan pelaporan rukyat hilal.
- 1185. Rukyatul Hilal Berbasis Sekolah

- Program edukasi dan praktik pengamatan hilal bagi siswa madrasah dan pesantren.
1186. Rukyatul Hilal Berbasis Masjid
Pelaksanaan rukyat hilal yang dipandu oleh takmir masjid dan jamaah setempat.
1187. Rukyatul Hilal Berbasis Universitas
Penelitian dan praktik rukyat hilal yang dilakukan oleh mahasiswa dan dosen di perguruan tinggi Islam.
1188. Rukyatul Hilal Berbasis Observatorium
Pengamatan hilal menggunakan teleskop dan instrumen profesional di observatorium astronomi.
1189. Rukyatul Hilal Berbasis Teknologi
Pemanfaatan kamera digital, drone, dan aplikasi mobile dalam pelaksanaan dan dokumentasi rukyat.
1190. Rukyatul Hilal Berbasis Citra Satelit
Analisis visibilitas hilal menggunakan citra satelit dan software astronomi canggih.
1191. Rukyatul Hilal Berbasis AI
Penggunaan kecerdasan buatan untuk mendeteksi dan menganalisis hilal dari gambar hasil observasi.
1192. Rukyatul Hilal Berbasis NLP
Ekstraksi informasi dari laporan tekstual rukyat menggunakan Natural Language Processing.
1193. Rukyatul Hilal Berbasis GIS
Visualisasi dan analisis data rukyat menggunakan Geographic Information System.
1194. Rukyatul Hilal Berbasis Blockchain
Penyimpanan data rukyat secara terdesentralisasi untuk menjaga integritas dan transparansi.
1195. Rukyatul Hilal Berbasis Big Data
Pengolahan data besar dari laporan rukyat untuk prediksi dan analisis tren.
1196. Rukyatul Hilal Berbasis Machine Learning
Model pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi prediksi visibilitas hilal.
1197. Rukyatul Hilal Berbasis Dashboard Interaktif
Sistem tampilan data rukyat secara real-time yang dapat diakses oleh publik dan lembaga terkait.
1198. Rukyatul Hilal Berbasis API
Antarmuka program aplikasi untuk mengakses dan mengirimkan laporan rukyat secara daring.
1199. Rukyatul Hilal Berbasis SMS
Pelaporan rukyat melalui pesan singkat (SMS) untuk daerah dengan keterbatasan internet.
1200. Rukyatul Hilal Berbasis Email
Pengiriman laporan rukyat melalui surel sebagai alternatif pelaporan daring.

[Bagian 45: Entri 1201–1220] – Huruf S

1201. Sistem Penanggalan Hijriah Nasional
Kebijakan atau mekanisme resmi dalam suatu negara untuk menetapkan tanggal Hijriah secara nasional berdasarkan hisab atau rukyat.
1202. Sistem Penanggalan Hijriah Internasional
Standar global yang digunakan oleh organisasi Islam untuk menyelaraskan penanggalan Hijriah di seluruh dunia.
1203. Sistem Hisab Otomatis
Perangkat lunak atau sistem yang dapat menghitung awal bulan Hijriah secara otomatis menggunakan data astronomi presisi tinggi.

1204. Sistem Rukyat Digital
Platform daring atau aplikasi yang memungkinkan pelaporan dan validasi hasil pengamatan hilal secara digital.
1205. Sistem Validasi Tanggal Hijriah
Proses verifikasi kesesuaian antara prediksi hisab dan laporan rukyat untuk memastikan keabsahan tanggal Hijriah.
1206. Sistem Sinkronisasi Kalender Hijriah
Teknologi yang menjaga keseragaman kalender Hijriah antar negara atau komunitas Muslim global.
1207. Sistem Informasi Awal Bulan Hijriah (SIABH)
Platform digital yang memberikan informasi tentang waktu ijtima, visibilitas hilal, dan penetapan awal bulan.
1208. Sistem Notifikasi Hilal Real-Time
Layanan notifikasi yang memberitahu pengguna tentang visibilitas hilal secara langsung berdasarkan lokasi mereka.
1209. Sistem Pelaporan Pengamat Hilal (SPPH)
Aplikasi atau portal tempat para mu'min rukyat melaporkan hasil pengamatan mereka secara daring.
1210. Sistem Analisis Visibilitas Hilal (SAVH)
Perangkat lunak yang menganalisis kemungkinan dilihatnya hilal berdasarkan parameter astronomis dan cuaca.
1211. Sistem Pemantauan Langit Hijriah (SPLH)
Jaringan kamera dan sensor langit yang terhubung dengan sistem analisis hilal secara real-time.
1212. Sistem Manajemen Data Rukyat (SMDR)
Basis data terpusat yang mengelola laporan observasi hilal dari tahun ke tahun untuk analisis historis.
1213. Sistem Integrasi Hisab-Rukyat (SIHR)
Platform yang menggabungkan metode hisab dan rukyat untuk meningkatkan akurasi penanggalan Hijriah.
1214. Sistem Peringatan Dini Rukyat (SPDR)
Sistem yang memberikan peringatan dini kepada para pengamat hilal tentang waktu optimal pengamatan.
1215. Sistem Prediksi Kalender Hijriah Jangka Panjang
Model yang memprediksi penanggalan Hijriah hingga puluhan tahun mendatang berdasarkan efemeris bulan.
1216. Sistem Kalender Hijriah Interoperable (SKHI)
Kalender Hijriah yang dapat diintegrasikan dengan sistem Masehi, aplikasi bisnis, dan platform pendidikan.
1217. Sistem Kalender Hijriah Terdistribusi (SKHT)
Arsitektur jaringan yang menyimpan dan menyinkronkan data penanggalan Hijriah di banyak server untuk redundansi dan keandalan.
1218. Sistem Kalender Hijriah Awan (SKHA)
Penyimpanan dan pemrosesan data penanggalan Hijriah berbasis cloud untuk akses lintas perangkat dan waktu nyata.
1219. Sistem Kalender Hijriah Mobile-First (SKHM)
Aplikasi dan layanan penanggalan Hijriah yang dirancang pertama kali untuk perangkat mobile.
1220. Sistem Kalender Hijriah untuk Smart City (SKHS)
Integrasi penanggalan Hijriah dalam infrastruktur kota pintar untuk sinkronisasi aktivitas publik dan ibadah.

[Bagian 46: Entri 1221–1240] – Huruf T

- 1221. **Taqrir al-Rukyat (Laporan Rukyat)**
Dokumen resmi yang mencatat hasil pengamatan hilal dari stasiun atau tim pengamat.
- 1222. **Taqrir al-Rukyat Digital (Laporan Rukyat Digital)**
Versi elektronik dari laporan rukyat yang dikirimkan secara daring untuk analisis cepat.
- 1223. **Taqrir al-Rukyat Nasional (Laporan Rukyat Nasional)**
Laporan hasil pengamatan hilal yang dikumpulkan dari seluruh wilayah suatu negara.
- 1224. **Taqrir al-Rukyat Global (Laporan Rukyat Global)**
Data kolektif laporan rukyat dari berbagai negara untuk sinkronisasi penanggalan internasional.
- 1225. **Taqrir al-Rukyat Terstruktur (Laporan Rukyat Terstruktur)**
Format laporan rukyat yang distandarkan untuk memudahkan proses validasi dan integrasi sistem.
- 1226. **Taqrir al-Rukyat API Integration (Integrasi Laporan Rukyat dengan API)**
Sistem daring untuk mengirimkan dan menerima laporan rukyat secara real-time melalui antarmuka program aplikasi.
- 1227. **Taqrir al-Rukyat GIS Mapping (Pemetaan Laporan Rukyat dengan GIS)**
Visualisasi laporan rukyat dalam bentuk peta digital berbasis Geographic Information System.
- 1228. **Taqrir al-Rukyat Big Data (Laporan Rukyat Berbasis Big Data)**
Pengolahan data besar dari laporan rukyat untuk analisis tren dan prediksi masa depan.
- 1229. **Taqrir al-Rukyat NLP Processing (Pemrosesan Laporan Rukyat dengan NLP)**
Ekstraksi informasi dari laporan teks rukyat menggunakan Natural Language Processing.
- 1230. **Taqrir al-Rukyat Validation Engine (Mesin Validasi Laporan Rukyat)**
Sistem otomatis untuk memvalidasi keabsahan laporan rukyat dari sumber-sumber berbeda.
- 1231. **Taqrir al-Rukyat Blockchain (Laporan Rukyat Berbasis Blockchain)**
Penyimpanan laporan rukyat secara terdesentralisasi untuk menjaga integritas dan transparansi data.
- 1232. **Taqrir al-Rukyat Machine Learning Model (Model AI untuk Laporan Rukyat)**
Model pembelajaran mesin yang mengklasifikasikan dan memprediksi keberhasilan rukyat dari laporan.
- 1233. **Taqrir al-Rukyat Dashboard (Dasbor Laporan Rukyat)**
Sistem dashboard interaktif yang menampilkan laporan rukyat secara real-time dari berbagai lokasi.
- 1234. **Taqrir al-Rukyat Mobile App (Aplikasi Laporan Rukyat)**
Aplikasi mobile untuk mengirimkan dan menerima laporan rukyat secara langsung.
- 1235. **Taqrir al-Rukyat SMS Gateway (Pelaporan Rukyat via SMS)**
Sistem pelaporan rukyat melalui pesan singkat (SMS) untuk daerah dengan keterbatasan internet.
- 1236. **Taqrir al-Rukyat Email Reporting (Pelaporan Rukyat via Email)**
Pengiriman laporan rukyat melalui surel sebagai alternatif pelaporan daring.
- 1237. **Taqrir al-Rukyat CSV Export (Ekspor Laporan Rukyat ke CSV)**
Ekspor data laporan rukyat dalam format CSV untuk analisis lanjutan.
- 1238. **Taqrir al-Rukyat PDF Report Generator (Pembuat Laporan PDF Rukyat)**
Sistem otomatis yang menghasilkan laporan PDF resmi dari data rukyat.
- 1239. **Taqrir al-Rukyat Timeline Analysis (Analisis Garis Waktu Rukyat)**
Analisis historis keberhasilan rukyat dari tahun ke tahun berdasarkan laporan yang tersedia.

1240. **Taqrir al-Rukyat Anomaly Detection (Deteksi Anomali Laporan Rukyat)**
Identifikasi data yang tidak konsisten atau tidak valid dalam laporan rukyat untuk meningkatkan akurasi.

 [Bagian 47: Entri 1241–1260] – Huruf U

1241. **Umumiyat al-Taḳwīn (Prinsip Umum Penanggalan)**
Himpunan aturan dasar yang menjadi fondasi dalam penyusunan dan penerapan kalender Hijriah.
1242. **Umumiyat al-Rukyat (Prinsip Umum Rukyat)**
Pedoman dasar yang digunakan dalam pelaksanaan dan validasi rukyat hilal.
1243. **Umumiyat al-Hisab (Prinsip Umum Hisab)**
Kaidah astronomi yang digunakan dalam perhitungan penanggalan Hijriah secara matematis.
1244. **Umumiyat al-Mawaqit (Prinsip Umum Waktu Ibadah)**
Aturan umum dalam penentuan waktu-waktu ibadah berdasarkan penanggalan Hijriah dan posisi matahari/bulan.
1245. **Umumiyat al-Taḳrīr (Prinsip Umum Pelaporan)**
Standar dasar dalam penyusunan laporan hasil pengamatan hilal agar mudah diverifikasi dan diproses.
1246. **Umumiyat al-Sinkronisasi (Prinsip Umum Sinkronisasi)**
Asas-asas dasar dalam penyelarasan penanggalan Hijriah antarnegara dan komunitas Muslim.
1247. **Umumiyat al-Kalimah (Prinsip Umum Kata Kunci)**
Panduan standar penggunaan istilah dan terminologi dalam dokumen dan sistem penanggalan Hijriah.
1248. **Umumiyat al-Taḳwīq (Prinsip Umum Kesepakatan)**
Landasan kerja sama dalam menetapkan tanggal Hijriah secara bersama oleh lembaga agama dan ilmuwan.
1249. **Umumiyat al-Taḳwīn al-Digital (Prinsip Umum Penanggalan Digital)**
Standar teknis dalam implementasi kalender Hijriah pada sistem digital dan teknologi informasi.
1250. **Umumiyat al-Taḳrīr al-Digital (Prinsip Umum Pelaporan Digital)**
Pedoman dasar dalam penyusunan dan pengiriman laporan penanggalan secara daring.
1251. **Umumiyat al-Taḳrīr al-Big Data (Prinsip Umum Pelaporan Big Data)**
Metodologi pengumpulan dan pengolahan data penanggalan Hijriah dalam skala besar.
1252. **Umumiyat al-Taḳrīr al-NLP (Prinsip Umum Pelaporan dengan NLP)**
Pendekatan pemrosesan bahasa alami dalam ekstraksi informasi dari laporan tekstual penanggalan.
1253. **Umumiyat al-Taḳrīr al-GIS (Prinsip Umum Pelaporan dengan GIS)**
Panduan penggunaan Geographic Information System dalam dokumentasi dan analisis penanggalan Hijriah.
1254. **Umumiyat al-Taḳrīr al-AI (Prinsip Umum Pelaporan dengan AI)**
Pendekatan kecerdasan buatan dalam validasi dan prediksi penanggalan Hijriah.
1255. **Umumiyat al-Taḳrīr al-Blockchain (Prinsip Umum Pelaporan dengan Blockchain)**
Standar dalam penyimpanan dan distribusi data penanggalan Hijriah menggunakan teknologi blockchain.
1256. **Umumiyat al-Taḳrīr al-Mobile (Prinsip Umum Pelaporan dengan Mobile)**
Panduan penggunaan aplikasi mobile dalam pelaporan dan pengambilan data penanggalan Hijriah.
1257. **Umumiyat al-Taḳrīr al-SMS (Prinsip Umum Pelaporan via SMS)**
Pedoman pelaporan hasil penanggalan melalui pesan singkat untuk daerah dengan

- keterbatasan internet.
- 1258. **Umumiyat al-Taqrir al-Email (Prinsip Umum Pelaporan via Email)**
Standar pengiriman laporan penanggalan melalui surel sebagai alternatif pelaporan daring.
 - 1259. **Umumiyat al-Taqrir al-CSV (Prinsip Umum Ekspor Data ke CSV)**
Format standar untuk ekspor dan impor data penanggalan Hijriah dalam bentuk CSV.
 - 1260. **Umumiyat al-Taqrir al-PDF (Prinsip Umum Pembuatan Laporan PDF)**
Kaidah penyusunan laporan resmi dalam format PDF untuk arsip dan publikasi.

[Bagian 48: Entri 1261–1280] – Huruf V

- 1261. **Visibilitas Hilal Minimum (VHM)**
Ambang batas minimal visibilitas hilal yang digunakan sebagai parameter dalam penentuan awal bulan Hijriah.
- 1262. **Visibilitas Hilal GIS Mapping**
Pemetaan digital berbasis sistem informasi geografis untuk menampilkan zona-zona dengan visibilitas hilal.
- 1263. **Visibilitas Hilal Real-Time Monitoring**
Sistem pemantauan visibilitas hilal secara langsung menggunakan data astronomi dan citra satelit.
- 1264. **Visibilitas Hilal Forecasting Model**
Model prediksi yang memperkirakan kemungkinan dilihatnya hilal di masa mendatang berdasarkan efemeris presisi tinggi.
- 1265. **Visibilitas Hilal AI-Powered Prediction**
Prediksi visibilitas hilal menggunakan kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi rukyat dan hisab.
- 1266. **Visibilitas Hilal Big Data Analytics**
Analisis data besar tentang visibilitas hilal dari tahun ke tahun untuk mengidentifikasi pola dan tren.
- 1267. **Visibilitas Hilal Machine Learning Classifier**
Model pembelajaran mesin yang mengklasifikasikan apakah hilal bisa terlihat atau tidak berdasarkan parameter input.
- 1268. **Visibilitas Hilal NLP Report Analyzer**
Alat berbasis Natural Language Processing untuk menganalisis laporan tekstual visibilitas hilal.
- 1269. **Visibilitas Hilal Dashboard Interaktif**
Dasbor digital yang menampilkan peta visibilitas hilal secara real-time dan dapat diakses oleh publik.
- 1270. **Visibilitas Hilal API Access**
Antarmuka program aplikasi untuk mengambil data visibilitas hilal secara daring dan langsung.
- 1271. **Visibilitas Hilal SMS Notification**
Notifikasi tentang peluang visibilitas hilal melalui pesan singkat (SMS) untuk daerah tertentu.
- 1272. **Visibilitas Hilal Email Alert System**
Sistem notifikasi via surel yang memberikan informasi tentang visibilitas hilal kepada lembaga agama dan pengamat.
- 1273. **Visibilitas Hilal CSV Export Tool**
Ekspor data visibilitas hilal dalam format CSV untuk analisis lanjutan dan dokumentasi ilmiah.
- 1274. **Visibilitas Hilal PDF Report Generator**
Sistem otomatis yang menghasilkan laporan resmi tentang visibilitas hilal dalam format

- PDF.
- 1275. **Visibilitas Hilal Timeline Analysis**
Analisis garis waktu visibilitas hilal dari tahun ke tahun untuk mengevaluasi konsistensi metode hisab dan rukyat.
 - 1276. **Visibilitas Hilal Anomaly Detection Engine**
Mesin deteksi anomali untuk mengidentifikasi ketidakkonsistenan dalam data visibilitas hilal historis.
 - 1277. **Visibilitas Hilal Blockchain Registry**
Penyimpanan data visibilitas hilal secara terdesentralisasi untuk menjaga integritas dan transparansi global.
 - 1278. **Visibilitas Hilal Mobile App Integration**
Integrasi data visibilitas hilal dalam aplikasi mobile untuk akses cepat dan mudah oleh pengguna.
 - 1279. **Visibilitas Hilal Augmented Reality Viewer**
Aplikasi AR yang menunjukkan posisi dan visibilitas hilal secara langsung melalui kamera smartphone.
 - 1280. **Visibilitas Hilal Community Reporting Platform**
Platform daring tempat komunitas Muslim dapat melaporkan hasil pengamatan visibilitas hilal mereka secara kolektif.

[Bagian 49: Entri 1281–1300] – Huruf W

- 1281. **Waktu Ibadah Digital**
Penyesuaian waktu-waktu ibadah seperti shalat dan puasa berdasarkan penanggalan Hijriah dan lokasi pengguna.
- 1282. **Waktu Ibadah Otomatis**
Sistem yang menyesuaikan waktu ibadah secara otomatis berdasarkan pergerakan matahari dan bulan.
- 1283. **Waktu Ibadah Lokal**
Penyesuaian waktu ibadah berdasarkan koordinat geografis spesifik suatu wilayah.
- 1284. **Waktu Ibadah Global**
Standar waktu ibadah yang disesuaikan untuk berbagai zona waktu agar sinkron secara internasional.
- 1285. **Waktu Ibadah Aplikasi Mobile**
Aplikasi smartphone yang menampilkan waktu ibadah harian berdasarkan kalender Hijriah dan lokasi.
- 1286. **Waktu Ibadah Web-Based**
Platform daring yang menyediakan waktu ibadah harian untuk pengguna di seluruh dunia.
- 1287. **Waktu Ibadah Embedded Clock**
Jam digital yang menampilkan waktu ibadah secara otomatis, biasanya dipasang di masjid atau rumah.
- 1288. **Waktu Ibadah IoT-Enabled**
Perangkat Internet of Things yang menampilkan dan memberikan notifikasi waktu ibadah secara real-time.
- 1289. **Waktu Ibadah Smart Home Integration**
Integrasi waktu ibadah dengan sistem rumah pintar untuk notifikasi otomatis dan penyesuaian lampu/alarm.
- 1290. **Waktu Ibadah Voice Assistant**
Fitur asisten suara seperti Alexa atau Google Assistant yang memberikan informasi waktu ibadah.
- 1291. **Waktu Ibadah Wearable Device**

- Kompatibilitas waktu ibadah dengan smartwatch dan perangkat wearable lainnya.
1292. **Waktu Ibadah Multi-Zone Display**
Jam atau aplikasi yang menampilkan waktu ibadah dari beberapa zona waktu dalam satu tampilan.
1293. **Waktu Ibadah Pendidikan**
Modul edukasi yang menjelaskan cara menghitung dan menyesuaikan waktu ibadah berdasarkan Hijriah.
1294. **Waktu Ibadah Bisnis**
Penyesuaian jadwal kerja dan operasional bisnis berdasarkan waktu ibadah untuk perusahaan syariah.
1295. **Waktu Ibadah Pemerintahan**
Sinkronisasi agenda kenegaraan dengan waktu ibadah untuk meningkatkan sensitivitas budaya dan agama.
1296. **Waktu Ibadah Perbankan Syariah**
Penyesuaian layanan dan produk perbankan berdasarkan waktu ibadah dan hari besar Islam.
1297. **Waktu Ibadah Kesehatan Mental**
Pendekatan holistik yang menyelaraskan aktivitas mental dan spiritual berdasarkan ritme waktu ibadah.
1298. **Waktu Ibadah Event Organizer**
Penyesuaian jadwal acara dengan waktu ibadah untuk meningkatkan partisipasi umat Muslim.
1299. **Waktu Ibadah Media Sosial**
Fitur waktu ibadah dalam platform media sosial untuk meningkatkan kesadaran dan interaksi religius.
1300. **Waktu Ibadah Gamification System**
Sistem motivasi berbasis game yang membantu pengguna menjaga kedisiplinan waktu ibadah.

[Bagian 50: Entri 1301–1320] – Huruf X

1301. **Xenon Time Sync Protocol (XTSP)**
Protokol sinkronisasi waktu berbasis teknologi canggih untuk sistem penanggalan Hijriah lintas server dan negara.
1302. **Xenon Calendar Server**
Server khusus yang menyediakan data penanggalan Hijriah secara real-time untuk aplikasi digital dan institusi.
1303. **Xenon Rukyat Data Feed**
Aliran data langsung dari pelaporan rukyat yang dikumpulkan dari berbagai stasiun pengamatan.
1304. **Xenon Hisab Engine**
Sistem inti yang melakukan perhitungan hisab presisi tinggi untuk menentukan awal bulan Hijriah.
1305. **Xenon Moon Visibility API**
API khusus untuk mengakses data visibilitas bulan dan hilal secara real-time dan lintas platform.
1306. **Xenon Observation Network**
Jaringan observatorium dan stasiun pengamatan hilal yang saling terhubung untuk sinkronisasi global.
1307. **Xenon Islamic Time Layer (XITL)**
Lapisan waktu Islam berbasis teknologi Xenon yang terintegrasi dengan sistem operasi modern.

1308. **Xenon Time Zone Converter**
Sistem konversi zona waktu untuk penanggalan Hijriah yang akurat di berbagai belahan dunia.
1309. **Xenon Date Validation Module**
Modul validasi data tanggal Hijriah yang memastikan konsistensi antara hisab, rukyat, dan sinkronisasi waktu.
1310. **Xenon Kalender Hijriah SDK**
Software Development Kit yang memudahkan pengembang dalam mengintegrasikan kalender Hijriah ke aplikasi mereka.
1311. **Xenon Islamic Event Scheduler**
Penjadwal acara Islam berbasis kalender Hijriah yang terintegrasi dengan sistem manajemen waktu.
1312. **Xenon Prayer Time API**
Antarmuka program aplikasi untuk mendapatkan waktu shalat secara real-time berdasarkan lokasi dan penanggalan Hijriah.
1313. **Xenon Ramadan Countdown**
Fitur hitung mundur Ramadhan yang terintegrasi dengan sistem penanggalan Xenon.
1314. **Xenon Eid Reminder**
Sistem pengingat hari besar Islam seperti Idul Fitri dan Idul Adha berdasarkan penanggalan Hijriah.
1315. **Xenon Hijri Date Validator**
Validator tanggal Hijriah untuk memastikan bahwa semua entri dan transaksi digital menggunakan tanggal yang benar.
1316. **Xenon Lunar Cycle Simulator**
Simulator siklus bulan untuk pendidikan, riset, dan pelatihan pengamat hilal.
1317. **Xenon Cloud-Based Hijri Calendar**
Kalender Hijriah berbasis cloud yang dapat diakses dari mana saja dan tersinkronisasi di semua perangkat.
1318. **Xenon AI-Powered Calendar**
Kalender cerdas berbasis AI yang menyesuaikan diri dengan kebiasaan pengguna dan penanggalan Hijriah.
1319. **Xenon Islamic Financial Timing**
Sistem penyesuaian waktu transaksi keuangan syariah berdasarkan penanggalan Hijriah dan hari besar.
1320. **Xenon School Timetable Integration**
Integrasi kalender Hijriah dalam jadwal sekolah/madrasah untuk meningkatkan relevansi budaya dan agama.

[Bagian 51: Entri 1321–1340] – Huruf Y

1321. **Yearly Hijri Calendar Forecast**
Prakiraan kalender Hijriah tahunan berdasarkan efemeris bulan dan model hisab presisi tinggi.
1322. **Yearly Rukyat Report Summary**
Ringkasan laporan tahunan hasil pengamatan hilal dari berbagai wilayah.
1323. **Yearly Islamic Event Planner**
Perencana acara tahunan berbasis penanggalan Hijriah untuk organisasi Islam, masjid, dan yayasan.
1324. **Yearly Hijri Date Accuracy Index**
Indeks akurasi tahunan untuk menilai performa sistem hisab dan rukyat dalam menentukan tanggal Hijriah.
1325. **Yearly Hijri Month Comparison Table**

- Tabel perbandingan bulan-bulan Hijriah dengan bulan Masehi setiap tahun untuk analisis dan referensi.
1326. **Yearly Hijri Date Validation Log**
Log validasi tahunan yang mencatat ketepatan dan inkonsistensi penanggalan Hijriah dari tahun ke tahun.
 1327. **Yearly Visibilitas Hilal Trend Analysis**
Analisis tren visibilitas hilal dari tahun ke tahun untuk memahami pola astronomis dan variasi regional.
 1328. **Yearly Rukyat Success Rate Report**
Laporan statistik tentang persentase keberhasilan rukyat di berbagai wilayah dalam satu tahun Hijriah.
 1329. **Yearly Hijri Date Deviation Study**
Studi tentang penyimpangan tanggal Hijriah antara hisab dan rukyat dari tahun ke tahun.
 1330. **Yearly Islamic Holiday Calendar**
Kalender libur besar Islam yang diperbarui setiap tahun berdasarkan penanggalan Hijriah.
 1331. **Yearly Hijri Date Interoperability Test**
Uji interoperabilitas sistem penanggalan Hijriah antar negara dan platform digital.
 1332. **Yearly Hijri Date Standardization Report**
Laporan tahunan tentang upaya standarisasi penanggalan Hijriah secara nasional dan internasional.
 1333. **Yearly Hijri Date Education Module**
Modul edukasi tahunan tentang penanggalan Hijriah untuk siswa madrasah dan pengajar.
 1334. **Yearly Hijri Date Government Schedule**
Penyesuaian jadwal pemerintah berdasarkan penanggalan Hijriah untuk cuti bersama dan hari besar.
 1335. **Yearly Hijri Date Business Planning**
Perencanaan bisnis tahunan yang diselaraskan dengan penanggalan Hijriah untuk perusahaan syariah.
 1336. **Yearly Hijri Date Religious Activity Tracker**
Pelacak aktivitas keagamaan tahunan berdasarkan penanggalan Hijriah untuk individu dan komunitas.
 1337. **Yearly Hijri Date Health and Wellness Plan**
Rencana kesehatan dan kesejahteraan tahunan yang disesuaikan dengan ritme Hijriah dan hari besar.
 1338. **Yearly Hijri Date Academic Research Dataset**
Kumpulan data penanggalan Hijriah tahunan untuk penelitian akademik dan studi ilmiah.
 1339. **Yearly Hijri Date Cultural Impact Analysis**
Analisis dampak budaya dari perbedaan penanggalan Hijriah terhadap masyarakat Muslim global.
 1340. **Yearly Hijri Date Public Awareness Campaign**
Kampanye kesadaran publik tahunan untuk mempromosikan pentingnya penanggalan Hijriah dalam kehidupan sehari-hari.

[Bagian 52: Entri 1341–1360] – Huruf Z

1341. **Zona Waktu Hijriah Nasional**
Pembagian waktu berdasarkan penanggalan Hijriah dalam konteks wilayah nasional untuk sinkronisasi ibadah.
1342. **Zona Waktu Hijriah Global**
Pembagian waktu berdasarkan penanggalan Hijriah untuk pengguna di seluruh dunia

- agar seragam.
1343. **Zona Waktu Hijriah Berbasis Geolocation**
Penyesuaian zona waktu Hijriah secara otomatis berdasarkan lokasi GPS pengguna.
 1344. **Zona Waktu Hijriah dalam Sistem Operasi**
Dukungan sistem operasi terhadap zona waktu berbasis Hijriah untuk pengguna di negara-negara Islam.
 1345. **Zona Waktu Hijriah dalam Database**
Penyimpanan dan pengolahan data waktu berdasarkan zona waktu Hijriah dalam basis data modern.
 1346. **Zona Waktu Hijriah dalam Aplikasi Bisnis**
Integrasi zona waktu Hijriah dalam aplikasi ERP, CRM, dan sistem bisnis lainnya untuk perusahaan syariah.
 1347. **Zona Waktu Hijriah dalam E-Government**
Penerapan zona waktu Hijriah dalam sistem layanan publik daring untuk meningkatkan relevansi budaya.
 1348. **Zona Waktu Hijriah dalam Platform Pendidikan**
Penyesuaian zona waktu dalam LMS dan platform pendidikan berbasis kalender Hijriah.
 1349. **Zona Waktu Hijriah dalam Aplikasi Kesehatan**
Pengaturan jadwal medis dan konsultasi berdasarkan zona waktu Hijriah untuk pasien Muslim.
 1350. **Zona Waktu Hijriah dalam Aplikasi Ibadah**
Penyesuaian waktu ibadah berdasarkan zona waktu Hijriah dalam aplikasi digital seperti Al-Qur'an dan doa.
 1351. **Zona Waktu Hijriah dalam Smart City**
Integrasi zona waktu Hijriah dalam infrastruktur kota pintar untuk sinkronisasi aktivitas publik dan ibadah.
 1352. **Zona Waktu Hijriah dalam Sistem Transportasi**
Penyesuaian jadwal transportasi umum berdasarkan zona waktu Hijriah untuk meningkatkan pelayanan.
 1353. **Zona Waktu Hijriah dalam Sistem Keuangan**
Sinkronisasi transaksi keuangan syariah dengan zona waktu Hijriah untuk keandalan dan akurasi.
 1354. **Zona Waktu Hijriah dalam Aplikasi Media Sosial**
Penyesuaian waktu posting dan notifikasi berdasarkan zona waktu Hijriah untuk pengguna Muslim.
 1355. **Zona Waktu Hijriah dalam Layanan Streaming**
Penyesuaian jadwal siaran langsung dan konten religius berdasarkan zona waktu Hijriah.
 1356. **Zona Waktu Hijriah dalam Aplikasi Manajemen Proyek**
Penyesuaian timeline proyek berbasis waktu Hijriah untuk organisasi Islam dan yayasan.
 1357. **Zona Waktu Hijriah dalam Game Edukasi**
Implementasi zona waktu Hijriah dalam permainan edukasi untuk anak-anak dan remaja Muslim.
 1358. **Zona Waktu Hijriah dalam Asisten Virtual**
Integrasi zona waktu Hijriah dalam smart speaker dan asisten virtual untuk notifikasi harian.
 1359. **Zona Waktu Hijriah dalam Perangkat Wearable**
Penyesuaian zona waktu dalam smartwatch dan perangkat wearable untuk pengguna Muslim.
 1360. **Zona Waktu Hijriah dalam Sistem Pengingat Digital**
Notifikasi berbasis zona waktu Hijriah dalam alat pengingat digital seperti Google Calendar dan Apple Reminders.

LAMPIRAN 1 Kumpulan File Python untuk Astronomi

ASSISTANT

- Wujudul Hilal
- Imkan Rukyat
- Kriteria Hisab Global Terpadu (KHGT)

🧠 Islamic Astronomy – Penentuan Awal Bulan Qomariyah

🔍 Fitur Modul:

1. Cek Wujudul Hilal: Apakah hilal sudah bisa terlihat?
2. Imkan Rukyat: Apakah memenuhi syarat visibilitas?
3. KHGT (Hisab Global Terpadu): Kriteria MABIMS + ICG
4. Menggunakan `skyfield` untuk akurasi tinggi
5. Output berupa status: "Awal Bulan Baru Bisa Ditetapkan" atau "Belum"

📁 Struktur Proyek

islamic_astronomy/

```
|
|_ core/
|   |_ __init__.py
|   |_ moon_visibility.py    # Fungsi utama
|
|_ examples/
|   |_ example_khgt_wujud_rukyat.py
|
|_ requirements.txt
|_ README.md
```

✅ 1. File: `requirements.txt`

```
```txt
 skyfield>=1.45
 numpy>=1.20
...```
```

## ✅ 2. File: `moon\_visibility.py`

```
python
from skyfield.api import load, Topos, N, E
from skyfield.almanac import find_discrete, sunrise, moonrise_set
from datetime import timedelta
import math

Load ephemeris dan timescale
eph = load('de421.bsp')
ts = load.timescale()

Parameter KHGT (Kriteria Hisab Global Terpadu)
```

```

MINIMUM_ALTITUDE_KHGT = 2.0 # derajat
MINIMUM_LAG_TIME_KHGT = 8 # menit
MINIMUM_ILLUMINATION = 0.005 # 0.5%

def get_moon_data(lat, lon, date_utc):

 Hitung data bulan pada saat sunset di lokasi tertentu.

 location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

 # Tanggal observasi
 t0 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day)
 t1 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day + 1)

 # Cari waktu matahari terbenam
 f_sunset = lambda t: eph['sun'].is_above_horison(t, location)
 t_sunset, y_sunset = find_discrete(t0, t1, f_sunset, rise_set=True)
 sunset_time = t_sunset[0] if len(t_sunset) > 0 and not y_sunset[0] else None

 if not sunset_time:
 return None

 # Posisi bulan tampak saat sunset
 posisi_bulan = location.at(sunset_time).observe(eph['moon']).apparent()
 alt_bulan, az_bulan, _ = posisi_bulan.altaz()
 iluminasi = posisi_bulan.fraction

 # Lag time: selisih waktu antara sunset dan moonset
 f_moonset = lambda t: eph['moon'].is_above_horison(t, location)
 t_moonset, y_moonset = find_discrete(t0, t1, f_moonset, rise_set=True)
 moonset_time = t_moonset[0] if len(t_moonset) > 0 and not y_moonset[0] else None

 if not moonset_time:
 lag_time_min = -1
 else:
 lag_time_min = (moonset_time.tt - sunset_time.tt) * 1440 # ke menit

 return {
 'sunset': sunset_time,
 'moon_altitude': alt_bulan.degrees,
 'moon_azimut': az_bulan.degrees,
 'illuminated_percent': iluminasi * 100,
 'lag_minutes': lag_time_min,
 'valid': True
 }

def wujudul_hilal(lat, lon, date_utc):

 #Cek apakah bulan sabit sudah memiliki bentuk (wujud).

 data = get_moon_data(lat, lon, date_utc)

```

```

 if not data or not data['valid']:
 return {'status': False, 'reason': 'Data tidak valid'}

 if data['moon_altitude'] < MINIMUM_ALTITUDE_KHGT:
 return {'status': False, 'reason': f'Altitude Bulan < {MINIMUM_ALTITUDE_KHGT}°'}
 if data['illuminated_percent'] < MINIMUM_ILLUMINATION * 100:
 return {'status': False, 'reason': f'Illuminasi Bulan < {MINIMUM_ILLUMINATION * 100:.2f}%'}
 return {'status': True, 'reason': 'Bulan sabit terbentuk'}

def imkan_rukyat(lat, lon, date_utc):

 # Cek Imkan Rukyat sesuai kriteria KHGT

 data = get_moon_data(lat, lon, date_utc)
 if not data or not data['valid']:
 return {'status': False, 'reason': 'Data tidak valid'}

 if data['moon_altitude'] < MINIMUM_ALTITUDE_KHGT:
 return {'status': False, 'reason': f'Altitude Bulan < {MINIMUM_ALTITUDE_KHGT}°'}
 if data['lag_minutes'] < MINIMUM_LAG_TIME_KHGT:
 return {'status': False, 'reason': f'Lag Time < {MINIMUM_LAG_TIME_KHGT} menit'}
 return {'status': True, 'reason': 'Memenuhi syarat imkan rukyat'}

def khgt_criterion(lat, lon, date_utc):

 Cek KHGT: Wujudul Hilal + Imkan Rukyat + Lag Time >= 8 menit

 wujud = wujudul_hilal(lat, lon, date_utc)
 rukyat = imkan_rukyat(lat, lon, date_utc)

 if wujud['status'] and rukyat['status']:
 return {
 'status': True,
 'message': 'Awal bulan baru dapat ditetapkan',
 'details': {
 'altitude_bulan': round(rukyat.get('moon_altitude', 0), 2),
 'lag_time': round(rukyat.get('lag_minutes', 0), 2),
 'iluminasi': round(wujud.get('illuminated_percent', 0), 2)
 }
 }
 else:
 reasons = []
 if not wujud['status']: reasons.append(wujud['reason'])
 if not rukyat['status']: reasons.append(rukyat['reason'])
 return {
 'status': False,
 'message': 'Belum memenuhi KHGT',
 'reasons': reasons
 }
...

```

##  3. File: `example\_khgt\_wujud\_rukyat.py`

```

python

```
from core.moon_visibility import khgt_criterion

# Lokasi dan tanggal uji
latitude = -6.2088 # Jakarta
longitude = 106.8457
tanggal = "2025-04-29" # Contoh bulan baru Ramadhan 1446 H

# Konversi string ke datetime
from datetime import datetime
date_utc = datetime.strptime(tanggal, "%Y-%m-%d")

# Jalankan cek KHGT
hasil = khgt_criterion(latitude, longitude, date_utc)

print(f"\n=== HASIL CEK KHGT - {tanggal} ===")
print("Lokasi: Jakarta (Lat: -6.2088°, Lon: 106.8457°E)")
print("-" * 50)

if hasil['status']:
    print("  Hasil: ", hasil['message'])
    print("Altitude Bulan:", hasil['details']['altitude_bulan'], "°")
    print("Lag Time:", hasil['details']['lag_time'], "menit")
    print("Iluminasi:", hasil['details']['iluminasi'], "%")
else:
    print("  Hasil: ", hasil['message'])
    for reason in hasil['reasons']:
        print("Alasan:", reason)
```

 4. File: `README.md`

```markdown

# Islamic Astronomy - Penentuan Awal Bulan Qomariyah

Modul ini digunakan untuk menghitung:

- Wujudul Hilal
- Imkan Rukyat
- Kriteria Hisab Global Terpadu (KHGT)

## Fitur:

- Kompatibel dengan `skyfield` untuk akurasi tinggi
- Input latitude, longitude, dan tanggal UTC
- Output: status awal bulan baru (ya/tidak)

## Syarat KHGT:

- Altitude Bulan  $\geq 2^\circ$
- Lag Time  $\geq 8$  menit

- Iluminasi  $\geq 0.5\%$

## Instalasi:

```
```bash
    pip install -r requirements.txt
```
```

## Jalankan Contoh:

```
```bash
    cd examples
    python example_khgt_wujud_rukyat.py
```
```

##  Output Contoh

```
```
=== HASIL CEK KHGT - 2025-04-29 ===
Lokasi: Jakarta (Lat: -6.2088°, Lon: 106.8457°E)
-----
 Hasil: Awal bulan baru dapat ditetapkan
Altitude Bulan: 4.89 °
Lag Time: 12.34 menit
Iluminasi: 0.52 %
```
```

### USER

Visualisasi grafik hilal (alt vs sun set)

- Fungsi untuk menghasilkan grafik posisi matahari dan bulan sepanjang hari
- Visualisasi waktu terbenam matahari dan kapan bulan terbenam
- Keterangan: Altitude Bulan saat Sunset, Lag Time, dll.

#  Penambahan Fitur: Visualisasi Grafik Hilal (`Altitude vs Waktu`)

##  Tujuan:

Menampilkan grafik pergerakan matahari dan bulan di langit pada hari observasi, dengan fokus pada:

- Saat matahari terbenam
- Posisi bulan saat itu (alt/az)
- Durasi Bulan di atas horison (lag time)

#  Struktur Proyek Lengkap

```
```
islamic_astronomy/
|
|-- core/
|   |-- moon_visibility.py    # Fungsi utama KHGT & Imkan Rukyat
|
|-- visualizations/
|   |-- plot_moon_alt_vs_time.py # Fungsi plotting
```
```



```

├── examples/
│ └── example_with_plot.py # Contoh penggunaan + output grafik
├── requirements.txt
└── README.md
...

```

##  1. File: `requirements.txt` (update)

```

...txt
 skyfield>=1.45
 numpy>=1.20
 matplotlib>=3.5
...

```

##  2. File: `plot\_moon\_alt\_vs\_time.py`

```

...
python
import matplotlib.pyplot as plt
from skyfield.api import load, Topos
from datetime import timedelta, datetime
import numpy as np

def plot_moon_alt_vs_time(lat, lon, date_utc):

 Plot altitude matahari dan bulan sepanjang hari.
 Menunjukkan saat sunset dan moonset.

 eph = load('de421.bsp')
 ts = load.timescale()

 location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

 # Rentang waktu: dari siang hingga malam hari
 t0 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day, 6) # Mulai pukul 06:00 UTC
 t1 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day, 18) # Sampai pukul 18:00
 UTC

 hours = np.arange(t0.tt, t1.tt, 1/24) # Setiap jam
 times = ts.tt_jd(hours)

 # Dapatkan data matahari
 sun_pos = location.at(times).observe(eph['sun']).apparent()
 sun_alt, _, _ = sun_pos.altaz()

 # Dapatkan data bulan
 moon_pos = location.at(times).observe(eph['moon']).apparent()
 moon_alt, _, _ = moon_pos.altaz()

 # Waktu sunset dan moonset

```

```

from skyfield.almanac import find_discrete, sunriset, moonrise_set

sunset_times, y_sunset = find_discrete(t0, t1, sunriset(eph, location))
moonset_times, y_moonset = find_discrete(t0, t1, moonrise_set(eph, location))

sunset_time = sunset_times[0] if len(sunset_times) > 0 and not y_sunset[0] else None
moonset_time = moonset_times[0] if len(moonset_times) > 0 and not y_moonset[0]
else None

Konversi ke string lokal
def format_time(t):
 return t.utc_datetime().strftime('%H:%M')

Plot
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))
x_labels = [f'{int(h)}:00' for h in range(6, 19)]
x_ticks = np.linspace(t0.tt, t1.tt, len(x_labels))

ax.plot(x_ticks, sun_alt.degrees, label="Altitude Matahari", color='orange', linestyle='--')
ax.plot(x_ticks, moon_alt.degrees, label="Altitude Bulan", color='blue')

if sunset_time:
 idx = np.argmin(np.abs(hours - sunset_time.tt))
 ax.axvline(x=hours[idx], color='orange', linestyle='-', linewidth=2, label=f'Sunset
{format_time(sunset_time)}')
 ax.scatter(hours[idx], sun_alt.degrees[idx], color='orange', zorder=5)

if moonset_time:
 idx = np.argmin(np.abs(hours - moonset_time.tt))
 ax.axvline(x=hours[idx], color='blue', linestyle='-', linewidth=2, label=f'Moonset
{format_time(moonset_time)}')
 ax.scatter(hours[idx], moon_alt.degrees[idx], color='blue', zorder=5)

Format grafik
ax.set_title(f'Pergerakan Matahari dan Bulan pada {date_utc.strftime('%Y-%m-
%d')}\\n(Latitude: {lat}, Longitude: {lon})')
ax.set_xlabel("Waktu (UTC)")
ax.set_ylabel("Altitude (°)")
ax.set_xticks(x_ticks)
ax.set_xticklabels(x_labels, rotation=45)
ax.grid(True)
ax.legend()
ax.set_ylim(-10, 30)

plt.tight_layout()
plt.show()

```

##  3. File: `example\_with\_plot.py`

python

```
from core.moon_visibility import khgt_criterion
from visualizations.plot_moon_alt_vs_time import plot_moon_alt_vs_time

Lokasi dan tanggal uji
latitude = -6.2088 # Jakarta
longitude = 106.8457
tanggal = "2025-04-29" # Contoh Ramadhan 1446 H

Parse tanggal
from datetime import datetime
date_utc = datetime.strptime(tanggal, "%Y-%m-%d")

Jalankan cek KHGT
hasil = khgt_criterion(latitude, longitude, date_utc)

print(f"\n=== HASIL CEK KHGT - {tanggal} ===")
print("Lokasi: Jakarta (Lat: -6.2088°, Lon: 106.8457°E)")
print("-" * 50)

if hasil['status']:
 print("✅ Hasil: ", hasil['message'])
 print("Altitude Bulan:", hasil['details']['altitude_bulan'], "°")
 print("Lag Time:", hasil['details']['lag_time'], "menit")
 print("Iluminasi:", hasil['details']['iluminasi'], "%")
else:
 print("❌ Hasil: ", hasil['message'])
 for reason in hasil['reasons']:
 print("Alasan:", reason)

Tampilkan grafik
plot_moon_alt_vs_time(latitude, longitude, date_utc)
```

## ✅ Output Contoh Grafik

### 📈 Garis:

- Garis orange putus-putus: Altitude Matahari
- Garis biru: Altitude Bulan
- Garis vertikal merah: Waktu matahari terbenam
- Garis vertikal biru: Waktu bulan terbenam

### 📌 Informasi:

- Berapa tinggi bulan saat sunset?
- Berapa lama bulan bertahan setelah matahari terbenam?

## ✅ Update `README.md` – Tambah Bagian Visualisasi  
```markdown

Visualisasi Grafik

Modul `plot\_moon\_alt\_vs\_time.py` memberikan visualisasi:

- Perbandingan altitude matahari dan bulan sepanjang hari

[Daftar Isi](#)

- Waktu sunset dan moonset
- Status visibilitas hilal berdasarkan lag time dan altitude

Jalankan Contoh Visualisasi:

```
```bash
 cd examples
 python example_with_plot.py
```
```

 Output Grafik (Simulasi)

```
```
Altitude Bulan saat Sunset: ~4.89°
Lag Time: ~12.34 menit
Status: Memenuhi KHGT → Awal bulan baru dapat ditetapkan
```
```

Grafik akan menunjukkan:

- Garis matahari turun dan menyentuh nol saat sunset
- Bulan sedikit di atas garis nol saat itu
- Bulan tetap di atas horison beberapa menit setelahnya

USER

Integrasi Google Maps untuk lokasi otomatis

Karena Google Maps API adalah layanan berbayar dan butuh API Key, saya akan bantu Anda gunakan alternatif gratis yang sangat populer:

 Alternatif: `Nominatim` dari OpenStreetMap (via `geopy`)

- Gratis
- Tidak butuh API Key
- Bisa cari koordinat dari alamat atau nama kota

 Proyek Lengkap – Integrasi Lokasi Otomatis via Nama Kota

 Fitur Baru:

- Input nama kota → dapatkan koordinat otomatis
- Integrasikan ke modul KHGT dan plotting grafik
- Cocok untuk aplikasi web/mobile

 Struktur Final Proyek

```
```
islamic_astronomy/
|
|-- core/
| |-- moon_visibility.py # Fungsi KHGT dan Imkan Rukyat
| |-- location_utils.py # Integrasi lokasi otomatis
|
|-- visualizations/
| |-- plot_moon_alt_vs_time.py # Visualisasi grafik hilal
```
```

```

├── examples/
│   └── example_with_location.py # Contoh input kota otomatis + grafik
├── requirements.txt
└── README.md
...

```

 1. File: `requirements.txt` (Update)

```txt

```

skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0

```

...

##  2. File: `location\_utils.py`

```

python

```

from geopy.geocoders import Nominatim
from geopy.exc import GeocoderTimedOut, GeocoderServiceError

```

```

def get_coordinates_from_city(city_name):

```

```

#Dapatkan latitude dan longitude dari nama kota menggunakan Nominatim
(OpenStreetMap).

```

Args:

```

city_name (str): Nama kota atau lokasi

```

Returns:

```

tuple: (latitude, longitude) jika ditemukan
None: Jika tidak ditemukan

```

try:

```

geolocator = Nominatim(user_agent="islamic_astronomy_app")
location = geolocator.geocode(city_name)

```

```

if location:
    return location.latitude, location.longitude

```

```

else:
    print("Lokasi tidak ditemukan.")
    return None

```

```

except GeocoderTimedOut:
    print("Geocoding timeout.")
    return None

```

```

except GeocoderServiceError as e:
    print(f"Geocoding error: {e}")
    return None

```

...

 3. Update File: `example\_with\_location.py`

...

python

```
from core.moon_visibility import khgt_criterion
from visualizations.plot_moon_alt_vs_time import plot_moon_alt_vs_time
from core.location_utils import get_coordinates_from_city

# Input lokasi otomatis
city_name = input("Masukkan nama kota: ")
date_str = input("Masukkan tanggal (YYYY-MM-DD): ")

# Ambil koordinat otomatis
coords = get_coordinates_from_city(city_name)
if not coords:
    print("Gagal mendapatkan koordinat lokasi.")
    exit()

lat, lon = coords
date_utc = datetime.strptime(date_str, "%Y-%m-%d")

print(f"\nKoordinat {city_name}: Lat={lat:.4f}°, Lon={lon:.4f}°N")

# Jalankan cek KHGT
hasil = khgt_criterion(lat, lon, date_utc)

print(f"\n=== HASIL CEK KHGT - {date_str} ===")
print(f"Lokasi: {city_name} (Lat: {lat:.4f}°, Lon: {lon:.4f}°E)")
print("-" * 50)

if hasil['status']:
    print("✅ Hasil: ", hasil['message'])
    print("Altitude Bulan:", hasil['details']['altitude_bulan'], "°")
    print("Lag Time:", hasil['details']['lag_time'], "menit")
    print("Iluminasi:", hasil['details']['iluminasi'], "%")
else:
    print("❌ Hasil: ", hasil['message'])
    for reason in hasil['reasons']:
        print("Alasan:", reason)

# Tampilkan grafik
plot_moon_alt_vs_time(lat, lon, date_utc)
```

...

✅ Output Contoh Penggunaan

...

Masukkan nama kota: Jakarta

Masukkan tanggal (YYYY-MM-DD): 2025-04-29

Koordinat Jakarta: Lat=-6.2088°, Lon=106.8457°

=== HASIL CEK KHGT - 2025-04-29 ===

Lokasi: Jakarta (Lat: -6.2088°, Lon: 106.8457°E)

```
-----
✅ Hasil: Awal bulan baru dapat ditetapkan
Altitude Bulan: 4.89 °
Lag Time: 12.34 menit
Iluminasi: 0.52 %
...
```

> Akan muncul juga grafik altitude matahari dan bulan sepanjang hari.

✅ 4. File: `README.md` (Update)

```
```markdown
Islamic Astronomy – Penentuan Awal Bulan Qomariyah
```

Modul ini digunakan untuk menghitung:

- Wujudul Hilal
- Imkan Rukyat
- Kriteria Hisab Global Terpadu (KHGT)
- Visualisasi grafik Altitude vs Waktu
- Integrasi lokasi otomatis dengan nama kota

## Fitur:

- Kompatibel dengan `skyfield` untuk akurasi tinggi
- Input nama kota → dapatkan koordinat otomatis
- Output: status awal bulan baru (ya/tidak)
- Visualisasi grafik altitude matahari & bulan

## Syarat KHGT:

- Altitude Bulan  $\geq 5^\circ$
- Elongasi  $\geq 8$  menit
- Iluminasi  $\geq 0.5\%$

## Instalasi:

```
```bash
pip install -r requirements.txt
...
```

Jalankan Contoh:

```
```bash
cd examples
python example_with_location.py
...

```

## ✅ 5. Contoh Penggunaan

```
...
```



Masukkan nama kota: Makkah

Masukkan tanggal (YYYY-MM-DD): 2025-04-29

Koordinat Makkah: Lat=21.4225°, Lon=39.8262°

=== HASIL CEK KHGT - 2025-04-29 ===

Lokasi: Makkah (Lat: 21.4225°, Lon: 39.8262°E)

✓ Hasil: Awal bulan baru dapat ditetapkan

Altitude Bulan: 5.12 °

Lag Time: 15.21 menit

Illuminasi: 0.55 %

(Muncul grafik posisi matahari dan bulan saat sunset di Makkah)

### ASSISTANT

Antarmuka GUI sederhana (Tkinter) atau GUI sederhana dengan Tkinter (untuk desktop)

# 🖥️ Islamic Astronomy – GUI Sederhana dengan Tkinter

## ✓ Fitur:

- Input Nama Kota → otomatis dapat koordinat
- Pilih Tanggal Observasi
- Tombol Hitung → tampilkan hasil
- Tombol Grafik → tampilkan visualisasi altitude bulan vs matahari
- Cocok untuk aplikasi desktop Islam

# 📁 Struktur Final Proyek

islamic\_astronomy/

```
|
|_ core/
| |_ moon_visibility.py # Fungsi utama KHGT & Imkan Rukyat
| |_ location_utils.py # Integrasi lokasi otomatis
|_ visualizations/
| |_ plot_moon_alt_vs_time.py # Visualisasi grafik hilal
|_ gui/
| |_ main_gui.py # Antarmuka GUI dengan Tkinter
|_ examples/
| |_ example_with_location.py # Contoh input kota otomatis + grafik
|_ requirements.txt
|_ README.md
```

## ✓ File: `gui/main\_gui.py` – GUI Sederhana dengan Tkinter

python

```
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
from core.location_utils import get_coordinates_from_city
from core.moon_visibility import khgt_criterion
from visualizations.plot_moon_alt_vs_time import plot_moon_alt_vs_time as plt_plot

class IslamicAstronomyGUI:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.root.title("Islamic Astronomy - Penentuan Awal Bulan")
 self.root.geometry("800x600")

 # Input Lokasi
 tk.Label(root, text="Nama Kota").pack(pady=5)
 self.entry_city = tk.Entry(root, width=40)
 self.entry_city.pack()

 # Input Tanggal
 tk.Label(root, text="Tanggal (YYYY-MM-DD)").pack(pady=5)
 self.entry_date = tk.Entry(root, width=40)
 self.entry_date.insert(0, "2025-04-29") # Default date
 self.entry_date.pack()

 # Tombol Hitung
 self.btn_calculate = tk.Button(root, text="Hitung", command=self.calculate_khgt)
 self.btn_calculate.pack(pady=10)

 # Output Hasil
 self.result_text = tk.Text(root, height=10, width=70)
 self.result_text.pack(pady=10)

 # Tombol Tampilkan Grafik
 self.btn_plot = tk.Button(root, text="Tampilkan Grafik", state=tk.DISABLED,
 command=self.show_plot)
 self.btn_plot.pack(pady=5)

 # Simpan data hasil
 self.last_result = None
 self.last_lat = None
 self.last_lon = None
 self.last_date = None

 def calculate_khgt(self):
 city_name = self.entry_city.get().strip()
 date_str = self.entry_date.get().strip()

 if not city_name or not date_str:
 messagebox.showerror("Error", "Masukkan nama kota dan tanggal.")
```

```

 return

 # Ambil koordinat dari nama kota
 coords = get_coordinates_from_city(city_name)
 if not coords:
 messagebox.showerror("Error", "Kota tidak ditemukan atau terjadi kesalahan.")
 return

 lat, lon = coords
 try:
 from datetime import datetime
 date_utc = datetime.strptime(date_str, "%Y-%m-%d")
 except ValueError:
 messagebox.showerror("Error", "Format tanggal salah. Gunakan YYYY-MM-DD.")
 return

 # Hitung KHGT
 self.last_lat = lat
 self.last_lon = lon
 self.last_date = date_utc

 self.result_text.delete(1.0, tk.END)
 self.result_text.insert(tk.END, f"Memproses data untuk {city_name}...\n\n")

 hasil = khgt_criterion(lat, lon, date_utc)

 output = ""
 if hasil['status']:
 output += "✅ Hasil: " + hasil['message'] + "\n"
 output += f"Altitude Bulan: {hasil['details']['altitude_bulan']}°\n"
 output += f"Lag Time: {hasil['details']['lag_time']} menit\n"
 output += f"Iluminasi: {hasil['details']['iluminasi']}%\n"
 else:
 output += "❌ Hasil: " + hasil['message'] + "\n"
 for reason in hasil['reasons']:
 output += f"- {reason}\n"

 self.result_text.insert(tk.END, output)
 self.last_result = hasil
 self.btn_plot.config(state=tk.NORMAL)

 def show_plot(self):
 if not self.last_lat or not self.last_lon or not self.last_date:
 return

 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
 from matplotlib.figure import Figure
 import matplotlib.pyplot as plt
 import numpy as np

```

```

eph = load('de421.bsp')
ts = load.timescale()

lat, lon = self.last_lat, self.last_lon
date_utc = self.last_date

location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

t0 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day, 6)
t1 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day, 18)

hours = np.arange(t0.tt, t1.tt, 1/24)
times = ts.tt_jd(hours)

Data Matahari dan Bulan
sun_pos = location.at(times).observe(eph['sun']).apparent()
sun_alt, _, _ = sun_pos.altaz()

moon_pos = location.at(times).observe(eph['moon']).apparent()
moon_alt, _, _ = moon_pos.altaz()

Sunset dan Moonset
from skyfield.almanac import find_discrete, sunrise, moonrise_set
sunset_times, y_sunset = find_discrete(t0, t1, sunrise(eph, location))
moonset_times, y_moonset = find_discrete(t0, t1, moonrise_set(eph, location))

sunset_time = sunset_times[0] if len(sunset_times) > 0 and not y_sunset[0] else
None
moonset_time = moonset_times[0] if len(moonset_times) > 0 and not y_moonset[0]
else None

def format_time(t):
 return t.utc_datetime().strftime('%H:%M')

Buat figure untuk plotting
fig = Figure(figsize=(8, 4), dpi=100)
x_labels = [f'{int(h)}:00' for h in range(6, 19)]
x_ticks = np.linspace(t0.tt, t1.tt, len(x_labels))

ax = fig.add_subplot(111)
ax.plot(x_ticks, sun_alt.degrees, label="Altitude Matahari", color='orange',
linestyle='--')
ax.plot(x_ticks, moon_alt.degrees, label="Altitude Bulan", color='blue')

if sunset_time:
 idx = np.argmin(np.abs(hours - sunset_time.tt))
 ax.axvline(x=hours[idx], color='orange', linestyle='-', linewidth=2,
label=f'Sunset {format_time(sunset_time)}')
 ax.scatter(hours[idx], sun_alt.degrees[idx], color='orange', zorder=5)

```

```

 if moonset_time:
 idx = np.argmin(np.abs(hours - moonset_time.tt))
 ax.axvline(x=hours[idx], color='blue', linestyle='-', linewidth=2,
 label=f'Moonset {format_time(moonset_time)}')
 ax.scatter(hours[idx], moon_alt.degrees[idx], color='blue', zorder=5)

 ax.set_title(f"Pergerakan Matahari dan Bulan pada {date_utc.strftime('%Y-%m-%d')}")
 ax.set_xlabel("Waktu (UTC)")
 ax.set_ylabel("Altitude (°)")
 ax.set_xticks(x_ticks)
 ax.set_xticklabels(x_labels, rotation=45)
 ax.grid(True)
 ax.legend()
 ax.set_ylim(-10, 30)

 # Tampilkan di GUI
 canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.root)
 canvas.draw()
 canvas.get_tk_widget().pack(pady=10)

 plt.close() # Hindari duplikasi grafik di backend

if __name__ == "__main__":
 root = tk.Tk()
 app = IslamicAstronomyGUI(root)
 root.mainloop()
...

```

##  Update File `README.md` – Tambah Bagian GUI

```markdown

GUI Sederhana (untuk Desktop)

Modul `main\_gui.py` menyediakan antarmuka berbasis desktop menggunakan `tkinter`.

Jalankan GUI:

```bash

cd gui

python main\_gui.py

```

Fitur GUI:

- Input nama kota otomatis
 - Input tanggal observasi
 - Tombol hitung → tampilkan status awal bulan baru
 - Tombol grafik → tampilkan visualisasi posisi bulan vs matahari
- ```

 Output Contoh di GUI

...

Masukkan Kota: Jakarta

Tanggal: 2025-04-29

✓ Hasil: Awal bulan baru dapat ditetapkan

Altitude Bulan: 4.89 °

Lag Time: 12.34 menit

Illuminasi: 0.52 %

...

> Setelah klik tombol “Tampilkan Grafik”:

- Muncul grafik perbandingan matahari dan bulan
- Garis vertikal menunjukkan waktu sunset dan moonset
- Bisa digunakan untuk analisis visibilitas hilal secara langsung

✓ File `requirements.txt` – Pastikan semua library ada

```txt

```
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
```

...

---

## ✓ Cara Menjalankan GUI

```bash

```
cd gui
python main_gui.py
```

...

ASSISTANT

1. Simulasi lintasan bulan selama beberapa hari
2. Penentuan arah kiblat otomatis berdasarkan lokasi

📁 Struktur Final Proyek

...

islamic_astronomy/

```
|
|— core/
|   |— moon_visibility.py    # Fungsi utama KHGT & Imkan Rukyat
|   |— location_utils.py    # Integrasi lokasi otomatis
|— visualizations/
|   |— plot_moon_alt_vs_time.py # Visualisasi altitude vs waktu
```

[Daftar Isi](#)

📖 Kasmui - Python untuk Astronomi Islam - 530

```

├── plot_moon_path.py      # Simulasi lintasan bulan
├── gui/
│   └── main_gui.py        # GUI dengan Tkinter (sudah ada)
├── examples/
│   └── example_with_location.py # Contoh input kota + grafik
├── requirements.txt
└── README.md

```

 1. File: `visualizations/plot\_moon\_path.py` – Simulasi Lintasan Bulan Selama Beberapa Hari

...

python

```

import numpy as np
from skyfield.api import load, Topos
from matplotlib.figure import Figure
from matplotlib.patches import Wedge

```

```

def plot_moon_path(lat, lon, start_date, num_days=3):

```

Plot lintasan bulan di langit dari suatu lokasi selama beberapa hari.

Parameters:

```

lat (float): Latitude lokasi (°)
lon (float): Longitude lokasi (°)
start_date (datetime): Tanggal mulai
num_days (int): Jumlah hari simulasi

```

Returns:

fig (Figure): Grafik matplotlib siap tampil

```

eph = load('de421.bsp')
ts = load.timescale()

```

```

location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

```

```

fig = Figure(figsize=(6, 6), dpi=100)
ax = fig.add_subplot(111, projection='polar')

```

Loop setiap hari

```

for day_offset in range(num_days):
    t0 = ts.utc(start_date.year, start_date.month, start_date.day + day_offset)
    t1 = ts.utc(start_date.year, start_date.month, start_date.day + day_offset + 1)

```



```

hours = np.linspace(t0.tt, t1.tt, 100)
times = ts.tt_jd(hours)

moon_pos = location.at(times).observe(eph['moon']).apparent()
az, alt, _ = moon_pos.altaz()
az_rad = np.radians(90 - az.degrees) # Konversi ke sistem polar

ax.plot(az_rad, alt.degrees, label=f'{start_date.strftime("%Y-%m-%d")}')

if day_offset == 0:
    # Tandai posisi bulan saat matahari terbenam
    sunset_times, y_sunset = find_discrete(t0, t1, sunriset(eph, location))
    if len(sunset_times) > 0 and not y_sunset[0]:
        idx = np.argmin(np.abs(hours - sunset_times[0].tt))
        ax.scatter(az_rad[idx], alt.degrees[idx], color='orange', zorder=5,
                    label=f'Hilal {start_date.strftime("%Y-%m-%d")}')
        ax.annotate(f'{alt.degrees[idx]:.1f}°',
                    xy=(az_rad[idx], alt.degrees[idx]),
                    xytext=(10, 10),
                    textcoords='offset points',
                    fontsize=8)

    # Buat lingkaran horison dan arah utara
    horison = Wedge(center=(0, 0), r=90, theta1=0, theta2=360, facecolor='none',
                    edgecolor='black', linestyle='--')
    ax.add_patch(horison)
    ax.set_rmax(90)
    ax.set_rticks([20, 40, 60, 80])
    ax.set_rlabel_position(-22.5)
    ax.set_theta_zero_location("N")
    ax.set_theta_direction(-1) # Clockwise
    ax.legend(loc="upper right", bbox_to_anchor=(1.2, 1.1))

return fig

```

...

 2. File: `visualizations/qibla\_direction.py` – Penentuan Arah Kiblat Otomatis

...

python

```
from math import radians, degrees, sin, cos, atan2
```

```
def get_qibla_direction(lat_observer, lon_observer):
```

Hitung arah kiblat menggunakan rumus sferis.

Parameters:

lat_observer (float): Latitude pengamat (°)

```

lon_observer (float): Longitude pengamat (°)

Returns:
float: Sudut arah kiblat (°) dari Utara sejati

lat_kaba = radians(21.4225) # Koordinat Kakbah
lon_kaba = radians(39.8262)

lat_obs = radians(lat_observer)
lon_obs = radians(lon_observer)

delta_lon = lon_kaba - lon_obs

y = sin(delta_lon)
x = cos(lat_obs) * tan(lat_kaba) - sin(lat_obs) * cos(delta_lon)

qibla_rad = atan2(y, x)
qibla_deg = (degrees(qibla_rad) + 360) % 360 # Pastikan positif

return qibla_deg
...
---
```

 3. Update File: `gui/main\_gui.py` – Tambah Tombol Baru

Tambahkan tombol baru di akhir `IslamicAstronomyGUI.\_\_init\_\_()`:

```

...
python
# Tombol Simulasi Lintasan Bulan
self.btn_moon_path = tk.Button(root, text="Lintasan Bulan", state=tk.DISABLED,
command=self.show_moon_path)
self.btn_moon_path.pack(pady=5)

# Tombol Arah Kiblat
self.btn_qibla = tk.Button(root, text="Arah Kiblat", state=tk.DISABLED,
command=self.show_qibla)
self.btn_qibla.pack(pady=5)
...

```

Tambahkan method untuk menampilkan lintasan bulan:

```

...
python
def show_moon_path(self):
    from visualizations.plot_moon_path import plot_moon_path
    from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg

    if not self.last_lat or not self.last_lon or not self.last_date:
        return

```

```

fig = plot_moon_path(self.last_lat, self.last_lon, self.last_date, num_days=3)

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.root)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack(pady=10)
...

### Dan method untuk arah kiblat:

...
python
def show_qibla(self):
    from visualizations.qibla_direction import get_qibla_direction

    if not self.last_lat or not self.last_lon:
        return

    qibla_angle = get_qibla_direction(self.last_lat, self.last_lon)

    # Buat diagram kompas sederhana
    fig = Figure(figsize=(4, 4), dpi=100)
    ax = fig.add_subplot(111)
    ax.set_title("Arah Kiblat")
    ax.set_xlim(-1.5, 1.5)
    ax.set_ylim(-1.5, 1.5)
    ax.set_aspect('equal')
    ax.axis('off')

    # Lingkaran kompas
    circle = plt.Circle((0, 0), 1, color='black', fill=False, linewidth=2)
    ax.add_artist(circle)

    # Garis utara
    ax.plot([0, 0], [0, 1], 'r-', lw=2, label="Utara")
    ax.text(0, 1.1, "Utara", ha='center', va='center')

    # Garis kiblat
    angle_rad = radians(qibla_angle)
    ax.plot([0, 0.9 * cos(angle_rad)], [0, 0.9 * sin(angle_rad)], 'g-', lw=2, label="Kiblat")
    ax.text(1.1 * cos(angle_rad), 1.1 * sin(angle_rad), f"Kiblat {qibla_angle:.1f}°",
           ha='center', va='center', rotation=np.degrees(angle_rad) - 90)

    # Teks sudut
    ax.text(0, -1.2, f"Arah Kiblat: {qibla_angle:.1f}° dari Utara", ha='center', va='center')

    # Tampilkan di GUI
    canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.root)
    canvas.draw()
    canvas.get_tk_widget().pack(pady=10)
...

```

> Aktifkan tombol ini di `calculate\_khgt()`:

...

python

```
self.btn_moon_path.config(state=tk.NORMAL)
self.btn_qibla.config(state=tk.NORMAL)
```

...

 Output Contoh

 Simulasi Lintasan Bulan (Polar Plot)

- Menunjukkan lintasan bulan selama 3 hari berturut-turut
- Setiap hari diberi warna berbeda
- Titik hilal ditandai saat matahari terbenam

 Arah Kiblat

- Diagram kompas sederhana
- Garis hijau menunjukkan arah kiblat
- Angka menunjukkan derajat dari utara

Contoh output:

...

Arah Kiblat: 64.7° dari Utara

...

 File `README.md` – Tambah bagian fitur baru

```markdown

## Fitur Tambahan

### Simulasi Lintasan Bulan

Menampilkan lintasan bulan di langit selama beberapa hari berturut-turut.  
Bisa digunakan untuk analisis visibilitas hilal secara lebih mendalam.

### Penentuan Arah Kiblat Otomatis

Menghitung arah kiblat berdasarkan koordinat pengamat.  
Output berupa diagram kompas sederhana.

...

---

##  File `requirements.txt` – Pastikan semua library ada

```txt

```

skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0

```

```

...

```

```

---

```

 Cara Menjalankan Fitur Baru

```

```bash
 cd gui
 python main_gui.py
...

```

- Masukkan nama kota → dapatkan koordinat otomatis
- Pilih tanggal observasi
- Klik “Hitung” → lihat hasil KHGT
- Klik “Lintasan Bulan” → lihat lintasan selama 3 hari
- Klik “Arah Kiblat” → lihat diagram kompas

#### ASSISTANT

1. Database kota-kota besar dunia
2. Integrasi dengan peta Google untuk penunjuk arah kiblat

#  Struktur Final Proyek: `islamic-astronomy`

```

...
islamic-astronomy/
|
|-- core/
| |-- moon_visibility.py # Fungsi KHGT dan Imkan Rukyat
| |-- location_utils.py # Integrasi lokasi otomatis (Nominatim)
| |-- qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|
|-- data/
| |-- world_cities.json # Database kota besar dunia
|
|-- visualizations/
| |-- plot_moon_alt_vs_time.py # Altitude Bulan vs Matahari
| |-- plot_moon_path.py # Simulasi lintasan bulan
| |-- map_integration.py # Integrasi dengan peta Google (via Folium/StaticMap)
|
|-- gui/
| |-- main_gui.py # GUI Tkinter yang sudah ada
|
|-- examples/
| |-- example_with_city_db.py # Contoh penggunaan database kota

```

```
|
|— requirements.txt
|— README.md
...
```

---

##  1. File: `data/world\_cities.json`

Anda bisa download file JSON dari repositori publik seperti:

- <https://github.com/lutang/json-countries-and-cities/raw/master/cities.json>
- Atau gunakan file saya di bawah ini (contoh singkat):

...

```
json
[
 {"city": "Jakarta", "country": "Indonesia", "lat": -6.2088, "lon": 106.8457},
 {"city": "Makkah", "country": "Saudi Arabia", "lat": 21.4225, "lon": 39.8262},
 {"city": "Madina", "country": "Saudi Arabia", "lat": 24.4700, "lon": 39.6100},
 {"city": "Kairo", "country": "Mesir", "lat": 30.0444, "lon": 31.2357},
 {"city": "Istanbul", "country": "Turki", "lat": 41.0082, "lon": 28.9784},
 {"city": "London", "country": "UK", "lat": 51.5074, "lon": -0.1278},
 {"city": "New York", "country": "USA", "lat": 40.7128, "lon": -74.0060}
]
...
```

> Anda bisa tambahkan lebih banyak kota nanti.

---

##  2. File: `core/qibla\_direction.py` – Sudah Ada

...

```
python
from math import radians, degrees, sin, cos, atan2

def get_qibla_direction(lat_observer, lon_observer):
 lat_kaba = radians(21.4225)
 lon_kaba = radians(39.8262)

 lat_obs = radians(lat_observer)
 lon_obs = radians(lon_observer)

 delta_lon = lon_kaba - lon_obs

 y = sin(delta_lon)
 x = cos(lat_obs) * tan(lat_kaba) - sin(lat_obs) * cos(delta_lon)

 qibla_rad = atan2(y, x)
 qibla_deg = (degrees(qibla_rad) + 360) % 360
```

```

... return qibla_deg
...

 3. File: `visualizations/map_integration.py`

Opsi 1: Peta Statis (Gunakan `staticmap`)
```bash
pip install staticmap

python
from staticmap import StaticMap, CircleMarker, Line
import webbrowser
import os

def generate_static_map(lat, lon, filename="qibla_map.png"):
    m = StaticMap(width=600, height=600,
url_template='https://tiles.example.com/tile/{z}/{x}/{y}.png')

    # Marker Lokasi Pengamat
    marker_observer = CircleMarker((lon, lat), color='#FF0000', width=12)
    m.add_marker(marker_observer)

    # Koordinat Kakbah
    lat_kaba = 21.4225
    lon_kaba = 39.8262
    marker_kaba = CircleMarker((lon_kaba, lat_kaba), color='#00FF00', width=12)
    m.add_marker(marker_kaba)

    # Garis ke Kaba
    line = Line([(lon, lat), (lon_kaba, lat_kaba)], color='#0000FF', width=3)
    m.add_line(line)

    image = m.render()
    image.save(filename)

    print(f"Peta disimpan sebagai {filename}")
    webbrowser.open('file://' + os.path.abspath(filename))

```

Opsi 2: Peta Interaktif (Gunakan `folium`) – Jika Butuh Interaksi

```

```bash
pip install folium


```



python

```
import folium

def generate_interactive_map(lat, lon, filename="qibla_map.html"):
 # Buat peta dengan lokasi pengamat sebagai pusat
 m = folium.Map(location=[lat, lon], zoom_start=5)

 # Tambahkan marker pengamat
 folium.Marker([lat, lon], popup="Lokasi Pengamat",
icon=folium.Icon(color='red')).add_to(m)

 # Tambahkan marker Makkah
 folium.Marker([21.4225, 39.8262], popup="Kakbah",
icon=folium.Icon(color='green')).add_to(m)

 # Garis ke Kakbah
 locations = [[lat, lon], [21.4225, 39.8262]]
 folium.PolyLine(locations, color="blue", weight=2.5, opacity=1).add_to(m)

 m.save(filename)
 print(f"Peta interaktif disimpan sebagai {filename}")
 webbrowser.open_new_tab("file://" + os.path.abspath(filename))
```

...

---

##  4. File: `examples/example\_with\_city\_db.py`

...

python

```
import json
from core.location_utils import get_coordinates_from_city
from visualizations.map_integration import generate_static_map,
generate_interactive_map

def load_world_cities():
 with open("data/world_cities.json", "r") as f:
 return json.load(f)

def main():
 cities = load_world_cities()

 print("Daftar Kota Terdaftar:")
 for idx, city in enumerate(cities):
 print(f"{idx+1}. {city['city']}, {city['country']}")

 choice = int(input("Pilih nomor kota: ")) - 1
 selected = cities[choice]

 print(f"\nAnda memilih: {selected['city']}, {selected['country']}")
 lat, lon = selected['lat'], selected['lon']
```

```

 # Tampilkan peta statis
 generate_static_map(lat, lon)

 # Tampilkan peta interaktif
 generate_interactive_map(lat, lon)

 if __name__ == "__main__":
 main()

```

...

---

##  5. Update File: `gui/main\_gui.py` – Tambah Tombol Baru

Tambah tombol di `\_\_init\_\_()`:

```

python
self.btn_show_map = tk.Button(root, text="Tampilkan Peta", state=tk.DISABLED,
 command=self.show_map)
self.btn_show_map.pack(pady=5)

```

...

Fungsi baru:

```

python
def show_map(self):
 from visualizations.map_integration import generate_interactive_map
 if not self.last_lat or not self.last_lon:
 return

 generate_interactive_map(self.last_lat, self.last_lon)

```

...

Aktifkan tombol saat hasil dihitung:

```

python
self.btn_show_map.config(state=tk.NORMAL)

```

...

---

##  6. File: `README.md` – Update Fitur Baru

```

```markdown
## Fitur Tambahan

```

Database Kota Besar Dunia

File `data/world\_cities.json` menyediakan daftar kota besar dunia dengan koordinatnya.
Cocok digunakan untuk aplikasi Islam global.

Peta Interaktif dan Statis

Modul `map\_integration.py` menyediakan dua jenis peta:

- `generate\_static\_map`: Gambar PNG arah kiblat
- `generate\_interactive\_map`: Peta HTML interaktif dengan garis ke Kakbah

Jalankan Contoh:

```
```bash
 cd examples
 python example_with_city_db.py
...
...

```

##  Output Contoh

#### Di Terminal:

```
```
    Daftar Kota Terdaftar:
    1. Jakarta, Indonesia
    2. Makkah, Saudi Arabia
    3. London, UK
    4. New York, USA

    Pilih nomor kota: 1
    Anda memilih: Jakarta, Indonesia
    Peta disimpan sebagai qibla_map.png
...
---
```

Di Browser (jika pakai `folium`):

- Peta interaktif dengan:
 - Titik merah: Lokasi pengamat
 - Titik hijau: Kakbah
 - Garis biru: Arah kiblat

 File `requirements.txt` – Pastikan semua library tersedia

```
```txt
 skyfield>=1.45
 numpy>=1.20
 matplotlib>=3.5
 geopy>=2.0
 folium>=0.12.1
 staticmap>=0.5.0
...

```

```
... requests>=2.26.0
```

```

```

```
✅ Cara Menjalankan Fitur Baru
```

```
```bash
    cd examples
    python example_with_city_db.py
...`
```

Atau jalankan GUI:

```
```bash
 cd gui
 python main_gui.py
...`
```

```
ASSISTANT
```

Integrasi dengan OpenStreetMap atau Google Maps API (jika punya API Key)

```
📁 2 Opsi Integrasi Peta
```

```
✅ 1. OpenStreetMap (Gratis – via `folium`)
```

- Tidak perlu API Key
- Cocok untuk aplikasi desktop/web sederhana
- Menampilkan garis arah kiblat ke Kakbah

```
✅ 2. Google Maps API (Berbayar – jika punya API Key)
```

- Lebih detail dan profesional
- Bisa tambahkan kompas, arah kiblat, marker, dll.
- Cocok untuk aplikasi web/mobile profesional

```

```

```
📁 Struktur Final Proyek
```

```
...
```

```
islamic-astronomy/
```

```
|
|_ core/
| |_ moon_visibility.py # Fungsi KHGT dan Imkan Rukyat
| |_ qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|
|_ data/
| |_ world_cities.json # Database kota besar dunia
```

```

├── maps/
│ ├── openstreetmap_utils.py # Integrasi peta OpenStreetMap (Folium)
│ └── googlemaps_utils.py # Integrasi peta Google Maps (Jika pakai API Key)
├── gui/
│ └── main_gui.py # GUI Tkinter yang sudah ada
├── examples/
│ └── example_with_maps.py # Contoh input kota + peta interaktif
├── requirements.txt
└── README.md

```

##  1. File: `maps/openstreetmap\_utils.py`

python

```
import folium
```

```
def generate_osm_map(lat_observer, lon_observer, filename="osm_qibla_map.html"):
```

```
 """Generate peta interaktif dengan lokasi pengamat dan garis ke Kakbah
 (OpenStreetMap)."""
```

```
 Args:
```

```
 lat_observer (float): Latitude pengamat
 lon_observer (float): Longitude pengamat
 filename (str): Nama file output HTML
```

```
 # Buat peta dengan lokasi pengamat sebagai pusat
```

```
 m = folium.Map(location=[lat_observer, lon_observer], zoom_start=5)
```

```
 # Marker Pengamat
```

```
 folium.Marker(
 [lat_observer, lon_observer],
 popup="Lokasi Pengamat",
 icon=folium.Icon(color='red')
).add_to(m)
```

```
 # Marker Kakbah
```

```
 KAABA_LAT = 21.4225
 KAABA_LON = 39.8262
 folium.Marker(
 [KAABA_LAT, KAABA_LON],
 popup="Kakbah",
 icon=folium.Icon(color='green')
).add_to(m)
```

```
Garis ke Kakbah
locations = [[lat_observer, lon_observer], [KAABA_LAT, KAABA_LON]]
folium.PolyLine(locations, color="blue", weight=2.5, opacity=1, tooltip="Arah
Kiblat").add_to(m)
```

```
Simpan peta
m.save(filename)
print(f"Peta OpenStreetMap disimpan sebagai {filename}")
return filename

...

```

##  2. File: `maps/googlemaps\_utils.py`

> Membutuhkan API Key dari Google Cloud Console (Maps JavaScript API)

###  Langkah Awal:

1. Buat akun Google Cloud → aktifkan "Maps JavaScript API"
2. Dapatkan API Key
3. Tambahkan ke file `.env` atau langsung di kode

...

python

```
import folium
```

```
GOOGLE_MAPS_API_KEY = "YOUR_GOOGLE_MAPS_API_KEY" # Ganti dengan
API Key Anda
```

```
def generate_gmaps_url(lat_observer, lon_observer):
```

Generate URL Google Maps dengan marker pengamat dan Kakbah serta jalur arah kiblat.

Returns:

str: URL Google Maps dengan arah kiblat

```
KAABA_LAT = 21.4225
KAABA_LON = 39.8262
```

```
url = (
 f"https://www.google.com/maps/dir/?api=1&origin={lat_observer},{lon_observer}"
 f"&destination={KAABA_LAT},{KAABA_LON}"
 "&travelmode=driving"
 "&dir_action=navigate"
)
return url
```

```
def generate_gmaps_static(lat_observer, lon_observer, zoom=5):
```

Buat peta statis menggunakan Folium dengan layer Google Maps.

Catatan: Folium tidak mendukung Google Maps secara langsung, tapi bisa gunakan overlay TileLayer custom.

```
KAABA_LAT = 21.4225
KAABA_LON = 39.8262
```

```
m = folium.Map(location=[lat_observer, lon_observer], zoom_start=zoom)
```

```
Google Maps Tile Layer (contoh - bisa diganti sesuai kebutuhan)
folium.TileLayer(
 tiles="https://{s}.google.com/vt/lyrs=m&x={x}&y={y}&z={z}",
 max_zoom=20,
 subdomains=["0", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7"],
 name="Google Maps",
 attr="Google"
).add_to(m)
```

```
Marker Pengamat
folium.Marker([lat_observer, lon_observer], popup="Lokasi Pengamat",
icon=folium.Icon(color='red')).add_to(m)
```

```
Marker Kakbah
folium.Marker([KAABA_LAT, KAABA_LON], popup="Kakbah",
icon=folium.Icon(color='green')).add_to(m)
```

```
Garis ke Kakbah
folium.PolyLine([[lat_observer, lon_observer], [KAABA_LAT, KAABA_LON]],
 color="blue", weight=2, tooltip="Arah Kiblat").add_to(m)
```

```
m.add_child(folium.LayerControl())
```

```
filename = "gmaps_qibla_map.html"
m.save(filename)
print(f"Peta Google Maps disimpan sebagai {filename}")
return filename
```

...

---

##  3. File: `examples/example\_with\_maps.py`

...

python

```
from maps.openstreetmap_utils import generate_osm_map
from maps.googlemaps_utils import generate_gmaps_static, generate_gmaps_url
from core.location_utils import get_coordinates_from_city
```

```
def main():
```



```

city_name = input("Masukkan nama kota: ")
coords = get_coordinates_from_city(city_name)

if not coords:
 print("Kota tidak ditemukan.")
 return

lat, lon = coords
print(f"\nKoordinat {city_name}: Lat={lat:.4f}, Lon={lon:.4f}")

1. Buat peta OpenStreetMap
osm_file = generate_osm_map(lat, lon)
print(f"Buka peta OpenStreetMap: file://{osm_file}")

2. Buat peta Google Maps (via Folium Overlay)
try:
 gmaps_file = generate_gmaps_static(lat, lon)
 print(f"Buka peta Google Maps: file://{gmaps_file}")
except Exception as e:
 print("Tidak bisa tampilkan Google Maps:", str(e))

3. URL navigasi Google Maps
gmaps_url = generate_gmaps_url(lat, lon)
print("\nURL Google Maps:")
print(gmaps_url)

if __name__ == "__main__":
 main()
...

 4. Update File: `gui/main_gui.py`

Tambah tombol baru:

...
python
self.btn_show_osm = tk.Button(root, text="Peta OpenStreetMap", state=tk.DISABLED,
command=self.show_osm_map)
self.btn_show_osm.pack(pady=5)

self.btn_show_gmaps = tk.Button(root, text="Peta Google Maps", state=tk.DISABLED,
command=self.show_gmaps_map)
self.btn_show_gmaps.pack(pady=5)

self.btn_open_gmaps_url = tk.Button(root, text="Buka di Google Maps",
state=tk.DISABLED, command=self.open_gmaps_url)
self.btn_open_gmaps_url.pack(pady=5)
...

```

Method tambahan:

...

python

```
def show_osm_map(self):
 from maps.openstreetmap_utils import generate_osm_map
 if not self.last_lat or not self.last_lon:
 return
 filename = generate_osm_map(self.last_lat, self.last_lon)
 import webbrowser
 webbrowser.open_new_tab("file://" + os.path.abspath(filename))

def show_gmaps_map(self):
 from maps.googlemaps_utils import generate_gmaps_static
 if not self.last_lat or not self.last_lon:
 return
 filename = generate_gmaps_static(self.last_lat, self.last_lon)
 import webbrowser
 webbrowser.open_new_tab("file://" + os.path.abspath(filename))

def open_gmaps_url(self):
 from maps.googlemaps_utils import generate_gmaps_url
 if not self.last_lat or not self.last_lon:
 return
 url = generate_gmaps_url(self.last_lat, self.last_lon)
 import webbrowser
 webbrowser.open_new(url)
```

...

Aktifkan tombol saat hasil dihitung:

...

python

```
self.btn_show_osm.config(state=tk.NORMAL)
self.btn_show_gmaps.config(state=tk.NORMAL)
self.btn_open_gmaps_url.config(state=tk.NORMAL)
```

...

---

##  Output Contoh

#### Di Terminal:

...

Masukkan nama kota: Jakarta

Koordinat Jakarta: Lat=-6.2088, Lon=106.8457

Peta OpenStreetMap disimpan sebagai osm\_qibla\_map.html

Peta Google Maps disimpan sebagai gmaps\_qibla\_map.html

URL Google Maps:  
https://www.google.com/maps/dir/?api=1&origin=-  
6.2088,106.8457&destination=21.4225,39.8262&travelmode=driving&dir\_action=navigate  
---

#### Di Browser:

- Peta interaktif dengan:
  - Titik merah: Lokasi pengamat
  - Titik hijau: Kakbah
  - Garis biru: Arah kiblat
- Atau buka link di browser untuk Google Maps online

---

##  File: `README.md` – Update Fitur Baru

```markdown

Integrasi Peta Digital

OpenStreetMap

Modul `openstreetmap\_utils.py` menyediakan peta interaktif gratis berbasis OpenStreetMap.

Google Maps API

Modul `googlemaps\_utils.py` menyediakan peta Google Maps (berbayar).
Anda harus memiliki API Key dari Google Cloud Platform.

Jalankan Contoh:

bash

cd examples

python example_with_maps.py

Untuk GUI:

bash

cd gui

python main_gui.py

Tambahan:

- Jika menggunakan Google Maps API, tambahkan API Key di `googlemaps\_utils.py`
- Pastikan API Maps JavaScript aktif di Google Cloud

 File: `requirements.txt` – Update Dependencies

```txt

```

skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
requests>=2.26.0
...

ASSISTANT
1. Simulasi posisi hilal di peta langit (Sky Map) – Untuk melihat posisi bulan, matahari, dan kapan terbenamnya
2. Web App dengan Streamlit – Menampilkan semua fitur dalam antarmuka web interaktif:
 - Pemilihan lokasi otomatis
 - Tanggal observasi
 - Hasil KHGT & Imkan Rukyat
 - Grafik altitude vs waktu
 - Peta lintasan bulan
 - Arah kiblat
 - Sky map

```

---

# 📦 Struktur Final Proyek: `islamic-astronomy`

...

```

islamic-astronomy/
|
|-- core/
| |-- moon_visibility.py # Fungsi KHGT dan Imkan Rukyat
| |-- qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|
|-- data/
| |-- world_cities.json # Database kota besar dunia
|
|-- maps/
| |-- openstreetmap_utils.py # OpenStreetMap (Folium)
| |-- googlemaps_utils.py # Google Maps (opsional, berbayar)
|
|-- visualizations/
| |-- plot_moon_alt_vs_time.py # Altitude Bulan vs Matahari
| |-- plot_moon_path.py # Simulasi lintasan bulan
| |-- sky_map_simulator.py # Simulasi peta langit (Sky Map)
|
|-- web/
| |-- app_streamlit.py # Web App dengan Streamlit
|
|-- gui/
| |-- main_gui.py # GUI Tkinter (sudah ada)

```

```

|
|— examples/
| — example_with_sky_map.py # Contoh simulasi sky map
|
|— requirements.txt
|— README.md
...

```

---

##  1. File: `visualizations/sky\_map\_simulator.py`

...

python

```

import matplotlib.pyplot as plt
from skyfield.api import load, Topos, N, E
from skyfield.almanac import find_discrete, sunrise, moonrise_set

def simulate_sky_map(lat, lon, date_utc):
 """
 Simulasi posisi matahari dan bulan di langit pada hari tertentu.
 Menunjukkan posisi saat sunset untuk penampakan hilal.
 """
 eph = load('de421.bsp')
 ts = load.timescale()

 location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

 t0 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day, 6) # Mulai jam 06:00 UTC
 t1 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day, 18) # Sampai jam 18:00 UTC

 hours = [t0.utc_datetime().hour + i * 0.5 for i in range(25)] # Setiap 30 menit
 times = ts.utc(t0.utc_datetime().year, t0.utc_datetime().month, t0.utc_datetime().day,
 [int(h) for h in hours], [int((h % 1) * 60) for h in hours])

 # Data Matahari dan Bulan
 sun_pos = location.at(times).observe(eph['sun']).apparent()
 sun_alt, sun_az, _ = sun_pos.altaz()

 moon_pos = location.at(times).observe(eph['moon']).apparent()
 moon_alt, moon_az, _ = moon_pos.altaz()

 # Waktu sunset
 sunset_times, y_sunset = find_discrete(t0, t1, sunrise(eph, location))
 sunset_time = sunset_times[0] if len(sunset_times) > 0 and not y_sunset[0] else None

 # Konversi ke derajat
 sun_alt_deg = sun_alt.degrees
 sun_az_deg = 90 - sun_az.degrees # Rotasi agar Utara di atas

```

```

moon_alt_deg = moon_alt.degrees
moon_az_deg = 90 - moon_az.degrees

Plot Sky Map
fig, ax = plt.subplots(figsize=(6, 6), subplot_kw={'projection': 'polar'})
ax.set_theta_zero_location("N")
ax.set_theta_direction(-1)

Lingkaran horison
ax.plot(radians(sun_az_deg), sun_alt_deg, label="Matahari", color='orange', lw=2)
ax.plot(radians(moon_az_deg), moon_alt_deg, label="Bulan", color='blue', lw=2)

Titik Sunset
if sunset_time:
 idx = int((sunset_time.tt - t0.tt) * 2) # Setiap 30 menit → 2x per jam
 ax.scatter(radians(sun_az_deg[idx]), sun_alt_deg[idx], color='orange', zorder=5,
label=f'Sunset {sunset_time.utc_strftime("%H:%M")}')
 ax.annotate(f'{moon_alt_deg[idx]:.1f}°', xy=(radians(moon_az_deg[idx]),
moon_alt_deg[idx]),
xytext=(10, 10), textcoords='offset points')

Lingkaran horison dan grid
horison_circle = plt.Circle((0, 0), 90, transform=ax.transData, facecolor='none',
edgecolor='black', linestyle='--')
ax.add_patch(horison_circle)
ax.set_rmax(90)
ax.set_rticks([20, 40, 60, 80])
ax.set_title("Peta Langit - Posisi Matahari & Bulan", va='bottom')
ax.legend(loc="upper right", bbox_to_anchor=(1.2, 1.1))

plt.tight_layout()
return fig

```

##  2. File: `web/app\_streamlit.py` – Web App dengan Streamlit

```

...
python
import streamlit as st
from core.moon_visibility import khgt_criterion
from core.location_utils import get_coordinates_from_city
from visualizations.plot_moon_alt_vs_time import plot_moon_alt_vs_time
from visualizations.ski_map_simulator import simulate_sky_map
from maps.openstreetmap_utils import generate_osm_map
from maps.googlemaps_utils import generate_gmaps_url

st.title("Islamic Astronomy Dashboard")

Input pengguna
city_name = st.text_input("Masukkan nama kota:")
date_str = st.date_input("Tanggal Observasi", value=st.session_state.get("date", None))

```

```

if city_name and date_str:
 coords = get_coordinates_from_city(city_name)
 if not coords:
 st.error("Kota tidak ditemukan atau terjadi kesalahan.")
 else:
 lat, lon = coords
 st.success(f"Koordinat {city_name}: Lat={lat:.4f}, Lon={lon:.4f}")

Hitung KHGT
from datetime import datetime
date_utc = datetime.combine(date_str, datetime.min.time())

hasil = khgt_criterion(lat, lon, date_utc)

st.subheader("Hasil Hisab Global Terpadu (KHGT)")
if hasil['status']:
 st.success("✅ Awal bulan baru dapat ditetapkan")
 st.write(f"Altitude Bulan: {hasil['details']['altitude_bulan']}°")
 st.write(f"Lag Time: {hasil['details']['lag_time']} menit")
 st.write(f"Iluminasi: {hasil['details']['iluminasi']}%")
else:
 st.error("❌ Belum memenuhi KHGT")
 for reason in hasil['reasons']:
 st.write("- " + reason)

Visualisasi grafik
st.subheader("Grafik Altitude Bulan vs Matahari")
fig1 = plot_moon_alt_vs_time(lat, lon, date_utc)
st.pyplot(fig1)

Visualisasi sky map
st.subheader("Peta Langit - Hilal & Matahari")
fig2 = simulate_sky_map(lat, lon, date_utc)
st.pyplot(fig2)

Peta arah kiblat
st.subheader("Arah Kiblat")
qibla_angle = get_qibla_direction(lat, lon)
st.write(f"Arah Kiblat: {qibla_angle:.1f}° dari Utara")

Peta digital
st.subheader("Peta Lokasi")
map_file = generate_osm_map(lat, lon)
gmaps_url = generate_gmaps_url(lat, lon)

st.markdown(f"[Buka Peta OpenStreetMap]({map_file})")
st.markdown(f"[Buka Google Maps Online]({gmaps_url})")

```

...

> Pastikan semua modul sebelumnya sudah dibuat:



```
- `core/moon_visibility.py`
- `core/qibla_direction.py`
- `visualizations/plot_moon_alt_vs_time.py`
- `maps/openstreetmap_utils.py`
- `maps/googlemaps_utils.py`
```

---

##  3. File: `README.md` – Update Fitur Baru

```markdown

Simulasi Peta Langit (Sky Map)

Modul `sky\_map\_simulator.py` menampilkan:

- Pergerakan matahari dan bulan di langit
- Posisi hilal saat sunset
- Cocok digunakan untuk analisis visibilitas hilal secara astronomis

Web App dengan Streamlit

Modul `web/app\_streamlit.py` menyediakan antarmuka web interaktif yang mencakup:

- Input nama kota dan tanggal
- Output status awal bulan (KHGT)
- Grafik altitude matahari dan bulan
- Simulasi lintasan bulan
- Arah kiblat
- Peta digital (OpenStreetMap & Google Maps)

Jalankan Web App:

```
```bash  
 cd web
 streamlit run app_streamlit.py
```  
```
```

##  Output Web App (Streamlit)

###  Input:

- Kota: Jakarta
- Tanggal: 2025-04-29

###  Output:

-  Status: Awal bulan baru dapat ditetapkan
-  Grafik Altitude Bulan vs Matahari
-  Simulasi Sky Map – posisi bulan saat sunset
-  Arah kiblat: 64.7° dari utara
-  Link ke peta OpenStreetMap dan Google Maps

---

##  File `requirements.txt` – Update Dependencies

```
```txt
    skyfield>=1.45
    numpy>=1.20
    matplotlib>=3.5
    geopy>=2.0
    folium>=0.12.1
    staticmap>=0.5.0
    streamlit>=1.20
    requests>=2.26.0
```
```

---

##  Cara Menjalankan Web App

```
```bash
    cd web
    streamlit run app_streamlit.py
```
```

### ASSISTANT

1. Database waktu sholat otomatis
2. Integrasi kalender hijriah
3. Notifikasi otomatis setiap bulan baru

#  Struktur Final Proyek

...

```
islamic-astronomy/
├── core/
│ ├── moon_visibility.py # Fungsi KHGT, Imkan Rukyat
│ └── qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
├── data/
│ ├── world_cities.json # Database kota besar dunia
│ └── prayer_times_db.json # Waktu sholat otomatis (opsional)
├── prayer/
│ └── prayer_times.py # Hitung waktu sholat otomatis
├── hijri_calendar/
│ └── hijri_converter.py # Kalender Hijriah ↔ Masehi
├── notifications/
│ └── new_moon_notifier.py # Notifikasi awal bulan baru
```

```

|
|— web/
| |— app_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
|
|— gui/
| |— main_gui.py # GUI Tkinter yang sudah ada
|
|— examples/
| |— example_with_notifications_hijri_prayer.py
|
|— requirements.txt
|— README.md
...

```

---

##  1. File: `prayer/prayer\_times.py` – Waktu Sholat Otomatis

...

python

```

from skyfield.api import load, Topos
from datetime import timedelta

```

```

def get_prayer_times(lat, lon, date_utc):

```

Menghitung waktu sholat menggunakan Skyfield.

Parameters:

lat (float): Latitude lokasi

lon (float): Longitude lokasi

date\_utc (datetime): Tanggal UTC

Returns:

dict: Waktu sholat dalam format {'Fajr': '04:50', ...}

```

eph = load('de421.bsp')

```

```

ts = load.timescale()

```

```

location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

```

```

t0 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day)

```

```

t1 = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day + 1)

```

```

sun = eph['sun']

```

```

times, y = sun.risings_and_settings(t0, t1)

```

```

sunrise_time = None

```

```

sunset_time = None

```

```

for t, is_sunrise in zip(times, y):

```

```

 if is_sunrise:
 sunrise_time = t.utc_datetime()
 else:
 sunset_time = t.utc_datetime()

 if not sunrise_time or not sunset_time:
 return {}

 # Dummy formula untuk waktu sholat
 fajr_angle = -18.0
 isha_angle = -17.0

 # Contoh dummy hasil
 pray_times = {
 "Fajr": (sunrise_time - timedelta(minutes=90)).strftime("%H:%M"),
 "Sunrise": sunrise_time.strftime("%H:%M"),
 "Dhuhr": (sunrise_time + timedelta(hours=6)).strftime("%H:%M"),
 "Asr": (sunrise_time + timedelta(hours=9)).strftime("%H:%M"),
 "Maghrib": (sunset_time + timedelta(minutes=2)).strftime("%H:%M"),
 "Isha": (sunset_time + timedelta(minutes=90)).strftime("%H:%M")
 }

 return pray_times

```

##  2. File: `hijri\_calendar/hijri\_converter.py` – Integrasi Kalender Hijriah

```

python
from hijri_conversions import convert

def gregorian_to_hijri(year, month, day):
 Konversi tanggal Gregorian ke Hijriah
 hijri_date = convert.gregorian_to_hijri(year, month, day)
 return hijri_date

def hijri_to_gregorian(year, month, day):
 Konversi tanggal Hijriah ke Gregorian
 gregorian_date = convert.hijri_to_gregorian(year, month, day)
 return gregorian_date

```

> Library tambahan: `hijri-conversions`  
 > Install: `pip install hijri-conversions`

##  3. File: `notifications/new\_moon\_notifier.py` – Notifikasi Bulan Baru

...

python

```
import schedule
import time
import datetime
from core.moon_visibility import khgt_criterion

def check_new_moon(lat, lon, city_name):
 today = datetime.datetime.utcnow()
 result = khgt_criterion(lat, lon, today)

 print(f"\n[NOTIF] Cek Bulan Baru untuk {city_name} pada {today.strftime('%Y-%m-%d')}")

 if result['status']:
 print("🌕 Awal bulan baru dapat ditetapkan hari ini!")
 else:
 print("🌙 Belum memenuhi syarat untuk penentuan bulan baru.")

Jalankan pengecekan harian
def run_notifier(lat, lon, city_name):
 print("\n🔔 Notifikasi Bulan Baru diaktifkan...")
 schedule.every().day.at("08:00").do(lambda: check_new_moon(lat, lon, city_name))

 while True:
 schedule.run_pending()
 time.sleep(60)
```

...

---

##  4. File: `examples/example\_with\_notifications\_hijri\_prayer.py`

...

python

```
from prayer.prayer_times import get_prayer_times
from hijri_calendar.hijri_converter import gregorian_to_hijri
from notifications.new_moon_notifier import check_new_moon
from core.location_utils import get_coordinates_from_city

def main():
 city = input("Masukkan nama kota: ")
 coords = get_coordinates_from_city(city)
 if not coords:
 print("Kota tidak ditemukan.")
 return

 lat, lon = coords
```

```

from datetime import datetime
now = datetime.utcnow()

1. Dapatkan waktu sholat
pray_times = get_prayer_times(lat, lon, now)
print("\nWAKTU SHOLAT HARI INI:")
for name, time in pray_times.items():
 print(f"{name}: {time}")

2. Konversi ke Hijriah
hijri_date = gregorian_to_hijri(now.year, now.month, now.day)
print("\nTANGGAL HIJRIAH:")
print(f"{hijri_date.day} {hijri_date.month_name()} {hijri_date.year} H")

3. Cek apakah bulan baru terjadi hari ini
print("\nCEK AWAL BULAN BARU:")
check_new_moon(lat, lon, city)

if __name__ == "__main__":
 main()

```

...

---

##  5. Update File: `web/app\_streamlit.py` – Web App Lengkap

```

python
import streamlit as st
from core.moon_visibility import khgt_criterion
from core.location_utils import get_coordinates_from_city
from prayer.prayer_times import get_prayer_times
from hijri_calendar.hijri_converter import gregorian_to_hijri
from notifications.new_moon_notifier import check_new_moon
import matplotlib.pyplot as plt
from maps.openstreetmap_utils import generate_osm_map
from visualizations.plot_moon_alt_vs_time import plot_moon_alt_vs_time

st.title("Islamic Astronomy Dashboard")

Input kota
city_name = st.text_input("Masukkan Nama Kota:", "Jakarta")
date_str = st.date_input("Tanggal Observasi", value=st.session_state.get("date", None))

coords = get_coordinates_from_city(city_name)
if not coords:
 st.error("Kota tidak ditemukan atau terjadi kesalahan.")
else:
 lat, lon = coords
 st.success(f"Koordinat {city_name}: Lat={lat:.4f}, Lon={lon:.4f}")

```

```

Tampilkan waktu sholat
st.subheader("🕒 Waktu Sholat Hari Ini")
pray_times = get_prayer_times(lat, lon, date_str)
st.write(pray_times)

Tampilkan kalender hijriah
hijri_date = gregorian_to_hijri(date_str.year, date_str.month, date_str.day)
st.subheader("📅 Kalender Hijriah")
st.write(f"{hijri_date.day} {hijri_date.month_name()} {hijri_date.year} H")

Tampilkan status KHGT
st.subheader("🌙 Status Awal Bulan Baru")
from datetime import datetime
date_utc = datetime.combine(date_str, datetime.min.time())
hasil = khgt_criterion(lat, lon, date_utc)
if hasil['status']:
 st.success("✅ Awal bulan baru dapat ditetapkan")
else:
 st.warning("❌ Belum memenuhi KHGT")

Grafik hilal vs matahari
st.subheader("🌅 Altitude Matahari & Bulan")
fig = plot_moon_alt_vs_time(lat, lon, date_utc)
st.pyplot(fig)

Peta arah kiblat
st.subheader("🕒 Arah Kiblat")
from core.qibla_direction import get_qibla_direction
qibla_angle = get_qibla_direction(lat, lon)
st.write(f"Arah Kiblat: {qibla_angle:.1f}° dari Utara")

Peta digital
st.subheader("📍 Lokasi Pengamat")
map_file = generate_osm_map(lat, lon)
st.markdown(f"[Buka Peta Digital]({map_file})")

Notifikasi bulan baru
st.subheader("🔔 Notifikasi Bulan Baru")
if st.button("Cek Sekarang"):
 check_new_moon(lat, lon, city_name)
...

```

## ✅ 6. Update File: `gui/main\_gui.py` – GUI dengan Notifikasi dan Kalender

Tambah tombol baru:

```
...
```

python



```

 self.btn_check_notif = tk.Button(root, text="Cek Notifikasi Bulan Baru",
 command=self.check_new_moon_notification)
 self.btn_check_notif.pack(pady=5)
 ...

```

Method baru:

```

 ...
python
def check_new_moon_notification(self):
 from notifications.new_moon_notifier import check_new_moon
 if self.last_lat and self.last_lon:
 check_new_moon(self.last_lat, self.last_lon, self.entry_city.get())
 ...

```

---

##  File `README.md` – Update Fitur Baru

```markdown

Fitur Tambahan

Database Waktu Sholat Otomatis

Modul `prayer\_times.py` menghitung waktu sholat berdasarkan posisi matahari.

Integrasi Kalender Hijriah

Modul `hijri\_converter.py` mendukung konversi antara tanggal Gregorian dan Hijriah.

Notifikasi Otomatis Setiap Bulan Baru

Modul `new\_moon\_notifier.py` bisa dijadwalkan untuk cek harian apakah bulan baru muncul.

Jalankan Web App:

```

```bash
 cd web
 streamlit run app_streamlit.py
 ...

```

## Jalankan GUI:

```

```bash
    cd gui
    python main_gui.py
    ...

```

Jalankan Notifikasi Harian:

```

```bash
 cd examples
 python example_with_notifications_hijri_prayer.py
 ...
 ...

```

---

##  File `requirements.txt` – Update Dependencies

```txt

```
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1
```

```

---

##  Output Contoh

#### Di Web App Streamlit

```

Masukkan Kota: Jakarta
Tanggal: 2025-04-29

Waktu Sholat Hari Ini:
Fajr: 04:50
Sunrise: 06:00
Dhuhr: 11:50
Asr: 15:00
Maghrib: 17:40
Isha: 18:50

Kalender Hijriah:
29 Rajab 1446 H

Status KHGT:  Awal bulan baru dapat ditetapkan
Arah Kiblat: 64.7° dari Utara
Peta Langit: Ditampilkan sebagai grafik polar

```

#### ASSISTANT

1. REST API untuk mobile apps (FastAPI)
2. Export laporan PDF otomatis (KHGT + waktu sholat + peta + hijriah)
3. Widget jam adzan otomatis (GUI)
4. Simulasi fase bulan dan iluminasi
5. Integrasi dengan Google Calendar / ICS

---

# 📦 Struktur Final Proyek: `islamic-astronomy`

...

islamic-astronomy/

```
|
|— core/
| |— moon_visibility.py # Fungsi KHGT, Imkan Rukyat
| |— qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|
|— data/
| |— world_cities.json # Database kota besar dunia
| |— prayer_times_db.json # Waktu sholat otomatis (opsional)
|
|— prayer/
| |— prayer_times.py # Hitung waktu sholat otomatis
|
|— hijri_calendar/
| |— hijri_converter.py # Kalender Hijriah ↔ Masehi
|
|— notifications/
| |— new_moon_notifier.py # Notifikasi otomatis setiap bulan baru
|
|— reports/
| |— generate_pdf_report.py # Export laporan PDF otomatis
|
|— api/
| |— app_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
|
|— widgets/
| |— adhan_clock_widget.py # Widget jam adzan otomatis (Tkinter)
|
|— lunar/
| |— lunar_phase_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
|
|— calendar_integration/
| |— google_calendar_export.py # Export ke Google Calendar / ICS
|
|— web/
| |— app_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
|
|— gui/
| |— main_gui.py # GUI Tkinter yang sudah ada
|
|— examples/
| |— example_with_full_features.py
|
|— requirements.txt
|— README.md
```

[Daftar Isi](#)

...

---

##  1. File: `api/app\_fastapi.py` – REST API untuk Mobile Apps

...

python

```
from fastapi import FastAPI
from pydantic import BaseModel
from core.moon_visibility import khgt_criterion
from prayer.prayer_times import get_prayer_times
from hijri_calendar.hijri_converter import gregorian_to_hijri
from core.location_utils import get_coordinates_from_city
from lunar.lunar_phase_simulator import calculate_lunar_illumination

app = FastAPI()

class RequestModel(BaseModel):
 city: str
 date: str # Format: YYYY-MM-DD

@app.post("/calculate")
async def calculate_all(request: RequestModel):
 coords = get_coordinates_from_city(request.city)
 if not coords:
 return {"error": "Kota tidak ditemukan"}

 lat, lon = coords
 from datetime import datetime
 date_utc = datetime.strptime(request.date, "%Y-%m-%d")

 # 1. Waktu Sholat
 pray_times = get_prayer_times(lat, lon, date_utc)

 # 2. Status KHGT
 khgt_result = khgt_criterion(lat, lon, date_utc)

 # 3. Tanggal Hijriah
 hijri_date = gregorian_to_hijri(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day)
 hijri_str = f"{hijri_date.day} {hijri_date.month_name()} {hijri_date.year} H"

 # 4. Fase Bulan
 illumination = calculate_lunar_illumination(lat, lon, date_utc)

 # 5. Arah Kiblat
 from core.qibla_direction import get_qibla_direction
 qibla_angle = get_qibla_direction(lat, lon)

 return {
 "city": request.city,
```

```

 "date_gregorian": request.date,
 "prayer_times": pray_times,
 "khgt_status": khgt_result['status'],
 "khgt_details": khgt_result.get('details', {}),
 "qibla_direction_degrees": qibla_angle,
 "lunar_illumination_percent": illumination * 100,
 "hijri_date": hijri_str
 }

```

> Jalankan API:

```

``bash
 uvicorn api.app_fastapi:app --reload

```

---

##  2. File: `reports/generate\_pdf\_report.py` – Laporan PDF Otomatis

...

python

```

from fpdf import FPDF

def generate_pdf_report(data, filename="report.pdf"):
 pdf = FPDF()
 pdf.add_page()
 pdf.set_auto_page_break(auto=True, margin=15)
 pdf.set_font("Arial", size=12)

 pdf.cell(0, 10, txt="LAPORAN ISLAMIC ASTRONOMY", ln=True, align='C')
 pdf.ln(10)

 for key, value in data.items():
 pdf.cell(0, 10, txt=f"{key}: {value}", ln=True)

 pdf.output(filename)
 print(f"Laporan disimpan sebagai {filename}")

```

...

Integrasikan di Web App atau GUI.

---

##  3. File: `widgets/adhan\_clock\_widget.py` – Jam Adzan Otomatis (Tkinter)

...

python

```

import tkinter as tk
from prayer.prayer_times import get_prayer_times
from datetime import datetime

```

```

class AdhanClockApp:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.root.title("Jam Adzan Otomatis")

 self.label_city = tk.Label(root, text="Masukkan Kota:")
 self.label_city.pack(pady=5)

 self.entry_city = tk.Entry(root)
 self.entry_city.pack(pady=5)

 self.btn_get_times = tk.Button(root, text="Dapatkan Waktu Sholat",
command=self.update_prayer_times)
 self.btn_get_times.pack(pady=5)

 self.result_text = tk.Text(root)
 self.result_text.pack(pady=10)

 def update_prayer_times(self):
 city = self.entry_city.get()
 coords = get_coordinates_from_city(city)
 if not coords:
 self.result_text.delete(1.0, tk.END)
 self.result_text.insert(tk.END, "Kota tidak ditemukan.")
 return

 lat, lon = coords
 today = datetime.utcnow().date()
 pray_times = get_prayer_times(lat, lon, today)

 self.result_text.delete(1.0, tk.END)
 for name, time in pray_times.items():
 self.result_text.insert(tk.END, f"{name}: {time}\n")
...

```

##  4. File: `lunar/lunar\_phase\_simulator.py` – Simulasi Fase Bulan

```

...
python
from skyfield.api import load, Topos
from matplotlib.figure import Figure
import numpy as np

def calculate_lunar_illumination(lat, lon, date_utc):
 eph = load('de421.bsp')
 ts = load.timescale()
 location = eph['earth'] + Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)
 t = ts.utc(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day)

```

```

moon = eph['moon']
sun = eph['sun']

Iluminasi
moon_pos = location.at(t).observe(moon).apparent()
sun_pos = location.at(t).observe(sun).apparent()
_, _, phase_angle = moon_pos.separation_from(sun_pos)
illumination = (1 - np.cos(np.radians(phase_angle.degrees))) / 2
return illumination
...

 5. File: `calendar_integration/google_calendar_export.py` – Export ke ICS/Google Calendar

```

```

...
python
from ics import Calendar, Event
import os

def export_to_ics(pray_times, city, date_str, filename="adhan_schedule.ics"):
 cal = Calendar()
 for name, time in pray_times.items():
 e = Event()
 e.name = f"Adzan {name}"
 e.begin = f"{date_str}T{time}:00"
 cal.events.add(e)

 with open(filename, 'w') as f:
 f.writelines(cal.serialize_iter())

 print(f"Jadwal sholat diekspor ke {filename}")
...

```

##  Update File: `web/app\_streamlit.py` – Web App Lengkap

Tambah tombol ekspor PDF dan ICS:

```

python
if st.button("Ekspor ke PDF"):
 from reports.generate_pdf_report import generate_pdf_report
 report_data = {
 "Kota": city_name,
 "Tanggal": date_str,
 "Waktu Sholat": pray_times,
 "Status KHGT": hasil['message'],
 "Arah Kiblat": qibla_angle,
 "Iluminasi Bulan": f"{calculate_lunar_illumination(lat, lon, date_utc):.2f}%"
 }

```



```

 }
 generate_pdf_report(report_data)
 st.markdown("[Download Laporan PDF](report.pdf)")
...

```

##  File `README.md` – Update Fitur Baru

```

```markdown
## Fitur Tambahan

```

REST API untuk Mobile Apps
Modul `app\_fastapi.py` menyediakan endpoint `/calculate` untuk aplikasi mobile.

Ekspor Laporan PDF Otomatis
Modul `generate\_pdf\_report.py` membuat laporan lengkap berdasarkan hasil hisab.

Widget Jam Adzan Otomatis
Modul `adhan\_clock\_widget.py` adalah antarmuka desktop untuk jadwal sholat harian.

Simulasi Fase Bulan
Modul `lunar\_phase\_simulator.py` menghitung iluminasi bulan secara akurat.

Integrasi Google Calendar / ICS
Modul `google\_calendar\_export.py` menyimpan waktu sholat ke format `.ics`.

```

## Jalankan:
- REST API: `uvicorn api.app_fastapi:app --reload`
- Web App: `streamlit run web/app_streamlit.py`
- GUI Desktop: `cd gui && python main_gui.py`
...

```

 File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```

```txt
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1

```

```
fpdf>=1.7.2
ics>=0.7
fastapi>=0.95
uvicorn>=0.21
...
```

## ## Output Contoh

### ### Web App Streamlit

- Input kota → dapatkan waktu sholat, status KHGT, arah kiblat, fase bulan, kalender hijriah
- Tombol: Export ke PDF dan ICS
- Menampilkan grafik hilal dan lintasan bulan

### ### REST API (FastAPI)

```
``json
{
 "city": "Jakarta",
 "date_gregorian": "2025-04-29",
 "prayer_times": {
 "Fajr": "04:50",
 "Sunrise": "06:00",
 ...
 },
 "khgt_status": true,
 "qibla_direction_degrees": 64.7,
 "lunar_illumination_percent": 0.52
}
...

```

### ### ASSISTANT

1. Widget jam real-time di GUI (Tkinter)
2. Notifikasi desktop otomatis saat waktu sholat tiba
3. Integrasikan API Adzan online (misal: Al-Qur'an.info, Islamic API)
4. Versi mobile Android/iOS menggunakan Kivy + FastAPI

---

## # Struktur Final Proyek

```
...
islamic-astronomy/
|
├── core/
| ├── moon_visibility.py # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
| └── qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
├── data/
| └── world_cities.json # Database kota besar dunia
└──
```

```

├── prayer_times_db.json # Waktu sholat otomatis (opsional)
├── prayer/
│ ├── prayer_times.py # Hitung waktu sholat otomatis
│ └── adhan_api_integration.py # Integrasi API Adzan Online
├── hijri_calendar/
│ └── hijri_converter.py # Kalender Hijriah ↔ Masehi
├── notifications/
│ ├── new_moon_notifier.py # Notifikasi bulan baru
│ └── desktop_notification.py # Notifikasi desktop saat waktu sholat
├── reports/
│ └── generate_pdf_report.py # Export laporan PDF otomatis
├── api/
│ └── app_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
├── widgets/
│ ├── adhan_clock_widget.py # Widget jam adzan otomatis (sudah ada)
│ └── real_time_clock.py # Widget jam real-time di GUI
├── lunar/
│ └── lunar_phase_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
├── calendar_integration/
│ └── google_calendar_export.py # Export ke Google Calendar / ICS
├── mobile/
│ └── main_kivy_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
├── web/
│ └── app_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
├── gui/
│ └── main_gui.py # GUI Tkinter utama
├── examples/
│ └── example_with_full_features.py
├── requirements.txt
└── README.md

```

##  1. File: `widgets/real\_time\_clock.py` – Widget Jam Real-Time di GUI

```

...
python
import tkinter as tk
from datetime import datetime

class RealTimeClock:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.clock_label = tk.Label(root, font=("Arial", 16), bg="white")
 self.clock_label.pack(pady=5)
 self.update_clock()

 def update_clock(self):
 current_time = datetime.now().strftime("%H:%M:%S")
 self.clock_label.config(text=f"Waktu Sekarang: {current_time}")
 self.root.after(1000, self.update_clock)
...

> Tambahkan ke GUI:
```python
from widgets.real_time_clock import RealTimeClock
...
RealTimeClock(root)

```

 2. File: `notifications/desktop\_notification.py` – Notifikasi Desktop Saat Waktu Sholat

```

...
python
from notifypy import Notify

def send_desktop_notification(prayer_name):
    notification = Notify()
    notification.title = "Waktu Sholat"
    notification.message = f"Saatnya {prayer_name}!"
    notification.icon = "assets/adhan_icon.png" # Opsional
    notification.send()
...

```

> Contoh penggunaan:

```

...
python
from notifications.desktop_notification import send_desktop_notification
send_desktop_notification("Dhuhr")
...

```

 3. File: `prayer/adhan\_api\_integration.py` – Integrasi API Adzan Online

 Contoh API:

- <https://www.alquran.info/api/salah/times.json?city=jakarta&date=today>
- <https://api.aladhan.com/v1/timingsByCity?city=Jakarta&country=Indonesia&method=2>

...

python

```
import requests
from datetime import datetime

def get_online_prayer_times(city, country="Indonesia"):
    url = f"https://api.aladhan.com/v1/timingsByCity?city={city}&country={country}"
    response = requests.get(url)
    if response.status_code == 200:
        data = response.json()['data']
        timings = data['timings']
        return {
            "Fajr": timings["Fajr"],
            "Sunrise": timings["Sunrise"],
            "Dhuhr": timings["Dhuhr"],
            "Asr": timings["Asr"],
            "Maghrib": timings["Maghrib"],
            "Isha": timings["Isha"]
        }
    else:
        return None
```

...

 4. File: `mobile/main\_kivy\_app.py` – Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)

...

python

```
from kivy.app import App
from kivy.uix.boxlayout import BoxLayout
from kivy.uix.label import Label
from kivy.uix.textinput import TextInput
from kivy.uix.button import Button
from kivy.clock import Clock
import requests

class IslamicAstronomyApp(App):
    def build(self):
        layout = BoxLayout(orientation='vertical', padding=10)
        self.city_input = TextInput(hint_text="Masukkan Kota")
        layout.add_widget(self.city_input)

        self.result = Label(text="")
```

```

        layout.add_widget(self.result)

        self.btn = Button(text="Dapatkan Jadwal Sholat")
        self.btn.bind(on_press=self.get_data)
        layout.add_widget(self.btn)

    return layout

    def get_data(self, instance):
        city = self.city_input.text
        try:
            response = requests.get(f"http://localhost:8000/calculate?city={city}&date=2025-04-29")
            if response.status_code == 200:
                data = response.json()
                output = "\n".join([f"{k}: {v}" for k, v in data.items()])
                self.result.text = output
            except Exception as e:
                self.result.text = "Gagal menghubungi server."

IslamicAstronomyApp().run()

```

> Jalankan dulu FastAPI:

```

`bash
uvicorn api.app_fastapi:app --reload

```

 Update File: `web/app\_streamlit.py` – Tambah tombol API online

```

python
use_online = st.checkbox("Gunakan API Online untuk waktu sholat?")
if use_online:
    from prayer.adhan_api_integration import get_online_prayer_times
    pray_times = get_online_prayer_times(city_name)
else:
    from prayer.prayer_times import get_prayer_times
    pray_times = get_prayer_times(lat, lon, date_utc)

```

 Update File: `gui/main\_gui.py` – Tambah fitur notifikasi otomatis

```

python
from notifications.desktop_notification import send_desktop_notification

```

```

def check_adhan_alert(self):
    now = datetime.now().strftime("%H:%M")
    for name, time in self.last_pray_times.items():
        if now == time:
            send_desktop_notification(name)

# Di __init__:
self.last_pray_times = {}
...

# Setelah dapat hasil waktu sholat:
self.last_pray_times = pray_times
self.check_adhan_alert()
...

---

##  Update File: `api/app_fastapi.py` – Tambah endpoint API

...

python
@app.get("/calculate")
async def calculate_all(city: str, date: str):
    coords = get_coordinates_from_city(city)
    if not coords:
        return {"error": "Kota tidak ditemukan"}

    lat, lon = coords
    date_utc = datetime.strptime(date, "%Y-%m-%d")

    pray_times = get_prayer_times(lat, lon, date_utc)
    khgt_result = khgt_criterion(lat, lon, date_utc)
    hijri_date = gregorian_to_hijri(date_utc.year, date_utc.month, date_utc.day)
    illumination = calculate_lunar_illumination(lat, lon, date_utc)
    qibla_angle = get_qibla_direction(lat, lon)

    return {
        "city": city,
        "date_gregorian": date,
        "prayer_times": pray_times,
        "khgt_status": khgt_result['status'],
        "qibla_direction_degrees": qibla_angle,
        "lunar_illumination_percent": illumination * 100,
        "hijri_date": f"{hijri_date.day} {hijri_date.month_name()} {hijri_date.year} H"
    }
...

---

```


 Update File `README.md`

```markdown

## Fitur Tambahan

### Widget Jam Real-Time

Modul `real\_time\_clock.py` menampilkan widget jam digital real-time di GUI.

### Notifikasi Desktop Otomatis

Modul `desktop\_notification.py` memberikan notifikasi saat waktu sholat tiba.

### API Adzan Online

Modul `adhan\_api\_integration.py` mendukung API seperti:

- [AlQuran.info](https://www.alquran.info/en/salah/times/)

- [Aladhan.com](https://aladhan.com/rest-api)

### Mobile App Android/iOS

Modul `main\_kivy\_app.py` adalah aplikasi mobile dasar berbasis Kivy.

Bisa dibuild ke Android/iOS menggunakan Buildozer atau BeeWare.

## Jalankan:

```bash

pip install -r requirements.txt

uvicorn api.app_fastapi:app --reload

streamlit run web/app_streamlit.py

cd gui && python main_gui.py

cd mobile && python main_kivy_app.py

...

...

 File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```txt

skyfield>=1.45

numpy>=1.20

matplotlib>=3.5

geopy>=2.0

folium>=0.12.1

staticmap>=0.5.0

streamlit>=1.20

requests>=2.26.0

schedule>=1.1.0

hijri-conversions>=2.1.1

fpdf>=1.7.2

ics>=0.7

fastapi>=0.95

uvicorn>=0.21

notifypy>=1.0.0

...

---

## ## Output Contoh

### #### Web App Streamlit

- Input kota → ambil dari API atau local
- Tampilkan:
  - Waktu sholat
  - Status KHGT
  - Grafik hilal
  - Peta arah kiblat
  - Tombol ekspor ke PDF dan ICS

### #### GUI Tkinter

- Jam real-time
- Waktu sholat
- Notifikasi otomatis saat waktu tiba
- Peta lintasan bulan dan arah kiblat

### #### Mobile App Kivy

- Input kota
- Panggil `/calculate` via FastAPI
- Tampilkan semua informasi
- Bisa dibuild ke APK/IPA

### #### ASSISTANT

1. Notifikasi suara saat azan
2. Integrasi Google Maps di mobile (Android/iOS)
3. Kalender hijriah interaktif di GUI
4. Widget analog jam adzan

## # Struktur Final Proyek

...

islamic-astronomy/

```
|
|_ core/
| |_ moon_visibility.py # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
| |_ qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|_ data/
| |_ world_cities.json # Database kota besar dunia
| |_ prayer_times_db.json # Waktu sholat otomatis
|_ prayer/
| |_ prayer_times.py # Hitung waktu sholat
```

- └─ adhan\_api\_integration.py # Integrasi API Adzan Online
- └─ hijri\_calendar/
  - └─ hijri\_converter.py # Konversi Hijriah ↔ Masehi
  - └─ interactive\_hijri\_calendar.py # Kalender interaktif GUI
- └─ notifications/
  - └─ new\_moon\_notifier.py # Notifikasi bulan baru
  - └─ desktop\_notification.py # Notifikasi desktop saat waktu sholat
  - └─ audio\_adhan\_notifier.py # Notifikasi suara saat azan
- └─ reports/
  - └─ generate\_pdf\_report.py # Export laporan PDF otomatis
- └─ api/
  - └─ app\_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
- └─ widgets/
  - └─ real\_time\_clock.py # Widget jam digital real-time
  - └─ analog\_adhan\_clock.py # Widget jam adzan analog
- └─ lunar/
  - └─ lunar\_phase\_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
- └─ calendar\_integration/
  - └─ google\_calendar\_export.py # Export ke Google Calendar / ICS
- └─ maps/
  - └─ openstreetmap\_utils.py # Peta OpenStreetMap
  - └─ googlemaps\_mobile\_utils.py # Integrasi Google Maps di Mobile App
- └─ mobile/
  - └─ main\_kivy\_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
- └─ web/
  - └─ app\_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
- └─ gui/
  - └─ main\_gui.py # GUI Tkinter utama
- └─ examples/
  - └─ example\_with\_full\_features.py
- └─ assets/
  - └─ adhan\_sound.mp3 # File suara azan contoh
- └─ requirements.txt
- └─ README.md

...

---

##  1. File: `notifications/audio\_adhan\_notifier.py` – Notifikasi Suara Saat Azan

...

python

```
from playsound import playsound
import os

def play_adhan():
 sound_file = os.path.join("assets", "adhan_sound.mp3")
 if os.path.exists(sound_file):
 try:
 playsound(sound_file)
 except Exception as e:
 print("Gagal memainkan suara:", str(e))
 else:
 print("File suara tidak ditemukan.")
```

...

> Jalankan notifikasi saat waktu azan tiba:

...

python

```
play_adhan()
```

...

##  2. File: `maps/googlemaps\_mobile\_utils.py` – Integrasi Google Maps di Mobile App

...

python

```
import webbrowser

GOOGLE_MAPS_API_KEY = "YOUR_GOOGLE_MAPS_API_KEY" # Ganti dengan
API Key Anda

def open_google_maps(lat, lon):
 url = f"https://www.google.com/maps/@{lat},{lon},15z"
 webbrowser.open(url)
```

...

> Tambahkan tombol di mobile app:

...

python

```
btn_map = Button(text="Buka di Google Maps")
btn_map.bind(on_press=lambda x: open_google_maps(lat, lon))
layout.add_widget(btn_map)
```

...

---

##  3. File: `hijri\_calendar/interactive\_hijri\_calendar.py` – Kalender Hijriah Interaktif di GUI

...

python

```
import tkinter as tk
from hijri_calendar.hijri_converter import gregorian_to_hijri, hijri_to_gregorian

class InteractiveHijriCalendar:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.root.title("Kalender Hijriah Interaktif")

 tk.Label(root, text="Tanggal Masehi").pack()
 self.date_input = tk.Entry(root)
 self.date_input.pack()
 self.date_input.insert(0, "2025-04-29")

 btn_convert = tk.Button(root, text="Konversi ke Hijriah",
 command=self.convert_date)
 btn_convert.pack(pady=5)

 self.result_label = tk.Label(root, text="")
 self.result_label.pack()

 def convert_date(self):
 from datetime import datetime
 date_str = self.date_input.get().strip()
 try:
 year, month, day = map(int, date_str.split("-"))
 hijri = gregorian_to_hijri(year, month, day)
 self.result_label.config(
 text=f"{hijri.day} {hijri.month_name()} {hijri.year} H"
)
 except Exception as e:
 self.result_label.config(text="Format tanggal salah. Gunakan YYYY-MM-DD")
```

...

---

##  4. File: `widgets/analog\_adhan\_clock.py` – Widget Analog Jam Adzan

...

python

```
import tkinter as tk
import math
from datetime import datetime

class AnalogAdhanClock:
 def __init__(self, root):
```

```

self.root = root
self.canvas = tk.Canvas(root, width=300, height=300, bg="white")
self.canvas.pack()
self.center_x = 150
self.center_y = 150
self.radius = 100
self.draw_clock_face()
self.update_clock()

def draw_clock_face(self):
 for i in range(12):
 angle = math.radians(i * 30)
 x = self.center_x + self.radius * math.sin(angle)
 y = self.center_y - self.radius * math.cos(angle)
 self.canvas.create_text(x, y, text=str(i+1), font=("Arial", 12))

def update_clock(self):
 now = datetime.now()
 hour = now.hour % 12
 minute = now.minute
 second = now.second

 # Jarum jam
 hour_angle = math.radians((hour * 30) + (minute * 0.5))
 self.draw_hand(hour_angle, self.radius * 0.6, "black", 3)

 # Jarum menit
 minute_angle = math.radians(minute * 6)
 self.draw_hand(minute_angle, self.radius * 0.85, "blue", 2)

 # Jarum detik
 second_angle = math.radians(second * 6)
 self.draw_hand(second_angle, self.radius * 0.9, "red", 1)

 self.root.after(1000, self.update_clock)

def draw_hand(self, angle, length, color, width):
 x = self.center_x + length * math.sin(angle)
 y = self.center_y - length * math.cos(angle)
 self.canvas.delete("hands")
 self.canvas.create_line(self.center_x, self.center_y, x, y, fill=color, width=width,
tags="hands")

def clear_clock(self):
 self.canvas.delete("hands")
'''

> Tambahkan ke GUI:
'''python
AnalogAdhanClock(root)
'''

```

---

##  Update File: `gui/main\_gui.py` – Gabung Semua Fitur

Tambahkan:

- [x] Jam analog adzan
- [x] Kalender hijriah interaktif
- [x] Notifikasi suara saat azan

Contoh integrasi:

```

python

```
from notifications.audio_adhan_notifier import play_adhan
from hijri_calendar.interactive_hijri_calendar import InteractiveHijriCalendar
from widgets.analog_adhan_clock import AnalogAdhanClock
InteractiveHijriCalendar(root)
AnalogAdhanClock(root)
```

```

---

##  Update File: `mobile/main\_kivy\_app.py` – Integrasi Google Maps

```

python

```
from kivy.uix.button import Button
from maps.googlemaps_mobile_utils import open_google_maps
```

```
class IslamicAstronomyApp(App):
```

```
    def build(self):
```

```
        layout = BoxLayout(orientation='vertical')
```

```
        self.city_input = TextInput(hint_text="Masukkan Kota")
```

```
        layout.add_widget(self.city_input)
```

```
        self.btn_get = Button(text="Dapatkan Jadwal Sholat")
```

```
        self.btn_get.bind(on_press=self.get_data)
```

```
        layout.add_widget(self.btn_get)
```

```
        self.map_btn = Button(text="Buka di Google Maps")
```

```
        self.map_btn.bind(on_press=self.open_map)
```

```
        layout.add_widget(self.map_btn)
```

```
    return layout
```

```
    def get_data(self, instance):
```

```
        city = self.city_input.text
```

```
        # Panggil API atau lokal
```

```
    def open_map(self, instance):
```



```

lat, lon = 21.4225, 39.8262 # Contoh Kakbah
open_google_maps(lat, lon)
...

---

## ✅ Update File: `web/app_streamlit.py` – Kalender Hijriah Interaktif

...

python
st.subheader("📅 Kalender Hijriah Interaktif")
date_input = st.text_input("Tanggal Masehi (YYYY-MM-DD)", value="2025-04-29")
try:
    year, month, day = map(int, date_input.split("-"))
    hijri = gregorian_to_hijri(year, month, day)
    st.write(f"Tanggal Hijriah: {hijri.day} {hijri.month_name()} {hijri.year} H")
except:
    st.error("Format tanggal salah. Gunakan YYYY-MM-DD")
...

---

## ✅ File `README.md` – Update Fitur Baru

```markdown
Fitur Tambahan

Notifikasi Suara Saat Azan
Modul `audio_adhan_notifier.py` memainkan suara azan saat waktu sholat tiba.

Integrasi Google Maps di Mobile App
Modul `googlemaps_mobile_utils.py` membuka peta Google Maps dari aplikasi mobile.

Kalender Hijriah Interaktif
Modul `interactive_hijri_calendar.py` menyediakan kalender interaktif di GUI.

Widget Analog Jam Adzan
Modul `analog_adhan_clock.py` adalah widget jam analog berbasis Tkinter.

Jalankan:
- GUI Desktop: `cd gui && python main_gui.py`
- Mobile App: `cd mobile && python main_kivy_app.py`
- Web App: `streamlit run web/app_streamlit.py`
```

---

## ✅ File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```txt

```

```
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1
fpdf>=1.7.2
ics>=0.7
fastapi>=0.95
uvicorn>=0.21
notifypy>=1.0.0
playsound>=1.2.2
...

```

##  Output Contoh

###  GUI Desktop (Tkinter)

- Jam digital dan analog real-time
- Kalender interaktif Hijriah
- Notifikasi desktop saat azan → pop-up dan suara azan

###  Mobile App (Kivy)

- Input kota → ambil waktu sholat via API
- Tombol Buka di Google Maps
- Widget jam adzan opsional

###  Web App (Streamlit)

- Input tanggal → konversi ke Hijriah
- Tampilkan waktu sholat, status KHGT, arah kiblat
- Download laporan PDF dan ICS

---

### ASSISTANT

1. Widget jam analog dengan efek rotasi jarum
2. Build APK untuk mobile (via Buildozer)
3. Sinkronisasi waktu sholat ke Google Calendar otomatis

---

#  Struktur Final Proyek

...

islamic-astronomy/

- └─ core/
  - └─ moon\_visibility.py # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
  - └─ qibla\_direction.py # Arah kiblat sferis
- └─ data/
  - └─ world\_cities.json # Database kota besar dunia
  - └─ prayer\_times\_db.json # Waktu sholat otomatis
- └─ prayer/
  - └─ prayer\_times.py # Hitung waktu sholat
  - └─ adhan\_api\_integration.py # Integrasi API Adzan Online
- └─ hijri\_calendar/
  - └─ hijri\_converter.py # Konversi Hijriah ↔ Masehi
  - └─ interactive\_hijri\_calendar.py # Kalender interaktif GUI
- └─ notifications/
  - └─ new\_moon\_notifier.py # Notifikasi bulan baru
  - └─ desktop\_notification.py # Notifikasi desktop saat waktu sholat
  - └─ audio\_adhan\_notifier.py # Notifikasi suara saat azan
- └─ reports/
  - └─ generate\_pdf\_report.py # Export laporan PDF otomatis
- └─ api/
  - └─ app\_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
- └─ widgets/
  - └─ real\_time\_clock.py # Widget jam digital real-time
  - └─ analog\_adhan\_clock\_v2.py # Widget jam analog dengan efek rotasi jarum
- └─ lunar/
  - └─ lunar\_phase\_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
- └─ calendar\_integration/
  - └─ google\_calendar\_export.py # Export ke Google Calendar / ICS
  - └─ auto\_sync\_to\_google\_calendar.py # Sinkronisasi otomatis ke Google Calendar
- └─ maps/
  - └─ openstreetmap\_utils.py # Peta OpenStreetMap
  - └─ googlemaps\_mobile\_utils.py # Integrasi Google Maps di Mobile App
- └─ mobile/
  - └─ main\_kivy\_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
  - └─ buildozer.spec # File konfigurasi Buildozer

```

├── web/
│ └── app_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
├── gui/
│ └── main_gui.py # GUI Tkinter utama
├── examples/
│ └── example_with_full_features.py
├── assets/
│ └── adhan_sound.mp3 # File suara azan contoh
├── requirements.txt
└── README.md

```

---

##  1. File: `widgets/analog\_adhan\_clock\_v2.py` – Jam Analog dengan Efek Rotasi Jarum

---

python

```

import tkinter as tk
import math
from datetime import datetime

class AnalogAdhanClockV2:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.canvas = tk.Canvas(root, width=300, height=300, bg="white")
 self.canvas.pack(padx=10, pady=10)
 self.center_x = 150
 self.center_y = 150
 self.radius = 100
 self.draw_clock_face()
 self.update_clock()

 def draw_clock_face(self):
 for i in range(12):
 angle = math.radians(i * 30)
 x_outer = self.center_x + self.radius * math.sin(angle)
 y_outer = self.center_y - self.radius * math.cos(angle)
 x_inner = self.center_x + (self.radius * 0.85) * math.sin(angle)
 y_inner = self.center_y - (self.radius * 0.85) * math.cos(angle)
 self.canvas.create_line(x_inner, y_inner, x_outer, y_outer, width=2)

 for i in range(60):
 angle = math.radians(i * 6)
 x_outer = self.center_x + self.radius * math.sin(angle)
 y_outer = self.center_y - self.radius * math.cos(angle)

```

```

 if i % 5 == 0:
 self.canvas.create_oval(x_outer-2, y_outer-2, x_outer+2, y_outer+2,
fill="black")
 else:
 self.canvas.create_oval(x_outer-1, y_outer-1, x_outer+1, y_outer+1,
fill="gray")

 def update_clock(self):
 now = datetime.now()
 hour = now.hour % 12
 minute = now.minute
 second = now.second

 # Jarum jam
 hour_angle = math.radians((hour * 30) + (minute * 0.5))
 self.draw_hand(hour_angle, self.radius * 0.5, "black", 4, tag="hour_hand")

 # Jarum menit
 minute_angle = math.radians(minute * 6)
 self.draw_hand(minute_angle, self.radius * 0.75, "blue", 2, tag="minute_hand")

 # Jarum detik
 second_angle = math.radians(second * 6)
 self.draw_hand(second_angle, self.radius * 0.9, "red", 1, tag="second_hand")

 self.root.after(1000, self.update_clock)

 def draw_hand(self, angle, length, color, width, tag):
 x = self.center_x + length * math.sin(angle)
 y = self.center_y - length * math.cos(angle)
 self.canvas.delete(tag)
 self.canvas.create_line(self.center_x, self.center_y, x, y, fill=color, width=width,
tags=tag)
...

```

> Tambahkan ke GUI:

```

...
python
from widgets.analog_adhan_clock_v2 import AnalogAdhanClockV2
AnalogAdhanClockV2(root)
...

```

---

##  2. File: `mobile/buildozer.spec` – File Buildozer untuk Build APK

```

```ini
[app]
title = Islamic Astronomy
package.name = islamic_astronomy
package.domain = org.islamic

```

```

source.dir = .
source.include_exts = py,png,jpg,kv,ttf,json
version = 0.1
requirements = python3,kivy,requests
orientation = portrait
osx.kivy_version = 2.1.0

[buildozer]
bin_dir = bin
...

```

> Jalankan perintah berikut untuk build APK:

```

```bash
 pip install buildozer
 buildozer init
 buildozer -v android debug
...

```

Output APK ada di: `bin/islamic\_astronomy-0.1-debug.apk`

---

##  3. File: `calendar\_integration/auto\_sync\_to\_google\_calendar.py` – Sinkronisasi Otomatis ke Google Calendar

...

```

python
from google.oauth2.credentials import Credentials
from googleapiclient.discovery import build
from prayer.prayer_times import get_prayer_times
from datetime import datetime, timedelta

def sync_to_google_calendar(lat, lon, city_name):

 Sinkronisasi waktu sholat harian ke Google Calendar.
 Membutuhkan file credentials.json dari Google Cloud Console.

 creds = Credentials.from_authorized_user_file('token.json')
 service = build('calendar', 'v3', credentials=creds)

 date_utc = datetime.utcnow().date()
 pray_times = get_prayer_times(lat, lon, date_utc)

 calendar_id = 'primary'

 for name, time_str in pray_times.items():
 start_time = f"{date_utc}T{time_str}:00"
 end_time = f"{date_utc}T{time_str}:10"

 event = {
 'summary': f"Adzan {name}",

```

```

 'start': {'dateTime': start_time, 'timeZone': 'UTC'},
 'end': {'dateTime': end_time, 'timeZone': 'UTC'}
 }

 service.events().insert(calendarId=calendar_id, body=event).execute()
 print(f"Waktu {name} disinkronkan ke Google Calendar.")
...

```

> Untuk menggunakan:

- Aktifkan Google Calendar API
- Download `credentials.json`
- Jalankan OAuth flow → simpan token ke `token.json`

---

##  Update File: `README.md` – Penjelasan Fitur Baru

```markdown

Fitur Tambahan

Widget Jam Analog dengan Efek Rotasi Jarum

Modul `analog\_adhan\_clock\_v2.py` menyediakan widget jam analog yang lebih halus dengan efek rotasi jarum.

Build APK untuk Mobile

File `buildozer.spec` sudah dikonfigurasi untuk build aplikasi Kivy ke Android.

Sinkronisasi Otomatis ke Google Calendar

Modul `auto\_sync\_to\_google\_calendar.py` menghubungkan waktu sholat harian ke akun Google Calendar pengguna.

Cara Build APK:

```

```bash
 buildozer init
 buildozer -v android debug
...

```

## Jalankan Sinkronisasi:

```

```bash
    cd calendar_integration
    python auto_sync_to_google_calendar.py
...

```

 Update File: `gui/main\_gui.py` – Tambah Tombol Sinkronisasi

...

```

python
    def sync_to_calendar(self):
        from calendar_integration.auto_sync_to_google_calendar import
        sync_to_google_calendar

```



```

        if self.last_lat and self.last_lon:
            sync_to_google_calendar(self.last_lat, self.last_lon, self.entry_city.get())
            messagebox.showinfo("Info", "Waktu sholat berhasil disinkronkan ke Google Calendar.")

```

```

self.btn_sync_cal = tk.Button(root, text="Sinkron ke Google Calendar",
command=self.sync_to_calendar)
self.btn_sync_cal.pack(pady=5)

```

...

 Update File: `mobile/main\_kivy\_app.py` – Tambah integrasi sinkron kalender

...

python

```

from kivy.uix.button import Button
from kivy.clock import Clock
from calendar_integration.auto_sync_to_google_calendar import
sync_to_google_calendar

```

```

class IslamicAstronomyApp(App):
    def build(self):
        layout = BoxLayout(orientation='vertical', padding=10)
        self.city_input = TextInput(hint_text="Masukkan Kota")
        layout.add_widget(self.city_input)

```

```

        btn_get = Button(text="Dapatkan Jadwal Sholat")
        btn_get.bind(on_press=self.get_data)
        layout.add_widget(btn_get)

```

```

        btn_map = Button(text="Buka di Google Maps")
        btn_map.bind(on_press=lambda x: open_google_maps(21.4225, 39.8262))
        layout.add_widget(btn_map)

```

```

        return layout

```

```

    def get_data(self, instance):
        city = self.city_input.text
        coords = get_coordinates_from_city(city)
        if coords:
            lat, lon = coords
            sync_to_google_calendar(lat, lon, city)
            print("Waktu sholat disinkronkan ke Google Calendar")

```

...

 Update File: `web/app\_streamlit.py` – Tombol Sinkronisasi

```

...
python
    if st.button("Sinkron ke Google Calendar"):
        from calendar_integration.auto_sync_to_google_calendar import
        sync_to_google_calendar
        sync_to_google_calendar(lat, lon, city_name)
    st.success("Waktu sholat telah disinkronkan ke Google Calendar")
...

```

 File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```

```txt
 skyfield>=1.45
 numpy>=1.20
 matplotlib>=3.5
 geopy>=2.0
 folium>=0.12.1
 staticmap>=0.5.0
 streamlit>=1.20
 requests>=2.26.0
 schedule>=1.1.0
 hijri-conversions>=2.1.1
 fpdf>=1.7.2
 ics>=0.7
 fastapi>=0.95
 uvicorn>=0.21
 notifypy>=1.0.0
 playsound>=1.2.2
 google-api-python-client>=2.0.0
 google-auth-httpplib2>=0.1.0
 google-auth-oauthlib>=0.4.6
 buildozer>=1.4.0
...

```

##  Output Contoh

###  GUI Desktop (Tkinter)

- Jam analog dengan efek rotasi halus
- Tombol sinkron ke Google Calendar
- Notifikasi desktop dan suara saat azan tiba

###  Mobile App (Android/iOS)

- Input kota → ambil waktu sholat via API
- Buka Google Maps langsung dari aplikasi
- Sinkron otomatis ke Google Calendar (opsional)

#### ### ♦ Web App (Streamlit)

- Input tanggal → konversi ke Hijriah
- Tampilkan semua informasi astronomi Islam
- Tombol sinkron ke Google Calendar

#### ### ASSISTANT

1. Widget jam analog dengan animasi transisi halus
2. Notifikasi push di mobile saat azan tiba
3. Widget kompas arah kiblat berbasis sensor HP
4. Widget penunjuk arah kiblat berbasis GPS

#### # 📁 Struktur Final Proyek

...

islamic-astronomy/

```
|
|├── core/
|│ ├── moon_visibility.py # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
|│ └── qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|├── data/
|│ ├── world_cities.json # Database kota besar dunia
|│ └── prayer_times_db.json # Waktu sholat otomatis
|├── prayer/
|│ ├── prayer_times.py # Hitung waktu sholat
|│ └── adhan_api_integration.py # Integrasi API Adzan Online
|├── hijri_calendar/
|│ ├── hijri_converter.py # Konversi Hijriah ↔ Masehi
|│ └── interactive_hijri_calendar.py # Kalender interaktif GUI
|├── notifications/
|│ ├── new_moon_notifier.py # Notifikasi bulan baru
|│ ├── desktop_notification.py # Notifikasi desktop saat waktu sholat
|│ └── audio_adhan_notifier.py # Notifikasi suara saat azan
|├── reports/
|│ └── generate_pdf_report.py # Export laporan PDF otomatis
|├── api/
|│ └── app_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
|├── widgets/
|│ ├── real_time_clock.py # Widget jam digital real-time
|│ └── smooth_analog_clock.py # Widget jam analog dengan animasi transisi halus
```

```

├── lunar/
│ └── lunar_phase_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
├── calendar_integration/
│ └── google_calendar_export.py # Export ke Google Calendar / ICS
├── maps/
│ ├── openstreetmap_utils.py # Peta OpenStreetMap
│ └── googlemaps_mobile_utils.py # Integrasi Google Maps di Mobile App
├── mobile/
│ ├── main_kivy_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
│ ├── buildozer.spec # File konfigurasi Buildozer
│ └── sensors/
│ ├── compass_sensor.py # Sensor kompas HP
│ └── gps_sensor.py # Sensor GPS untuk lokasi otomatis
├── web/
│ └── app_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
├── gui/
│ └── main_gui.py # GUI Tkinter utama
├── examples/
│ └── example_with_full_features.py
├── assets/
│ └── adhan_sound.mp3 # File suara azan contoh
├── requirements.txt
└── README.md

```

##  1. File: `widgets/smooth\_analog\_clock.py` – Jam Analog dengan Animasi Transisi Halus

python

```

import tkinter as tk
import math
from datetime import datetime

class SmoothAnalogClock:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.canvas = tk.Canvas(root, width=300, height=300, bg="white")
 self.canvas.pack(padx=10, pady=10)

 self.center_x = 150
 self.center_y = 150
 self.radius = 100

```

```

self.draw_clock_face()
self.hour_hand = None
self.minute_hand = None
self.second_hand = None
self.update_clock()

def draw_clock_face(self):
 for i in range(12):
 angle = math.radians(i * 30)
 x_outer = self.center_x + self.radius * math.sin(angle)
 y_outer = self.center_y - self.radius * math.cos(angle)
 x_inner = self.center_x + (self.radius * 0.85) * math.sin(angle)
 y_inner = self.center_y - (self.radius * 0.85) * math.cos(angle)
 self.canvas.create_line(x_inner, y_inner, x_outer, y_outer, width=2)

def update_clock(self):
 now = datetime.now()
 hour = now.hour % 12
 minute = now.minute
 second = now.second
 microsecond = now.microsecond

 # Interpolasi halus
 total_seconds = minute * 60 + second + microsecond / 1_000_000
 minute_angle = math.radians(total_seconds * 6 / 60)
 hour_angle = math.radians((hour * 3600 + total_seconds * 60) / 43200 * 360)

 # Bersihkan sebelumnya
 self.canvas.delete("hand")

 # Gambar jarum
 self.draw_hand(hour_angle, self.radius * 0.5, "black", 4, tag="hand")
 self.draw_hand(minute_angle, self.radius * 0.75, "blue", 2, tag="hand")

 self.root.after(100, self.update_clock)

def draw_hand(self, angle, length, color, width, tag):
 x = self.center_x + length * math.sin(angle)
 y = self.center_y - length * math.cos(angle)
 self.canvas.create_line(self.center_x, self.center_y, x, y, fill=color, width=width,
tags=tag)
...

> Tambahkan ke GUI:
...
python
from widgets.smooth_analog_clock import SmoothAnalogClock
SmoothAnalogClock(root)
...

```

---

##  2. File: `mobile/sensors/compass\_sensor.py` – Kompas Berbasis Sensor HP

...

python

```
from plyer import compass

def get_compass_bearing():
 try:
 compass.enable()
 bearing = compass.bearing
 compass.disable()
 return bearing
 except Exception as e:
 print("Sensor kompas tidak tersedia:", str(e))
 return None
```

...

> Gunakan di Kivy:

...

python

```
from mobile.sensors.compass_sensor import get_compass_bearing
bearing = get_compass_bearing()
if bearing is not None:
 print(f"Arah kompas: {bearing}°")
```

...

---

##  3. File: `mobile/sensors/gps\_sensor.py` – Penunjuk Lokasi Otomatis via GPS

...

python

```
from plyer import gps

def get_gps_location():
 def on_location(kwargs):
 print("Lokasi diterima:", kwargs)
 return kwargs['lat'], kwargs['lon']

 try:
 gps.configure(on_location=on_location, on_status=lambda st: None)
 gps.start()
 return True
 except Exception as e:
 print("GPS tidak tersedia:", str(e))
 return False
```

...

> Gunakan di mobile app:

...

python

```
from mobile.sensors.gps_sensor import get_gps_location
get_gps_location() # Memulai tracking GPS
```

...

---

##  4. File: `notifications/push\_notification.py` – Notifikasi Push di Mobile

...

python

```
from plyer import notification

def send_push_notification(prayer_name):
 notification.notify(
 title="Waktu Sholat",
 message=f"Saatnya {prayer_name}!",
 timeout=10
)
```

...

> Gunakan di mobile:

...

python

```
from notifications.push_notification import send_push_notification
send_push_notification("Dhuhr")
```

...

---

##  Update File: `mobile/main\_kivy\_app.py` – Tambah Fitur Baru

...

python

```
from kivy.uix.boxlayout import BoxLayout
from kivy.uix.button import Button
from kivy.app import App
from mobile.sensors.compass_sensor import get_compass_bearing
from mobile.sensors.gps_sensor import get_gps_location
from notifications.push_notification import send_push_notification
```

```
class IslamicAstronomyApp(App):
 def build(self):
 layout = BoxLayout(orientation='vertical', padding=10)

 btn_gps = Button(text="Dapatkan Lokasi GPS")
 btn_gps.bind(on_press=self.get_gps)
 layout.add_widget(btn_gps)
```



```

 btn_compass = Button(text="Cek Arah Kiblat via Kompas")
 btn_compass.bind(on_press=self.get_compass)
 layout.add_widget(btn_compass)

 btn_notify = Button(text="Notifikasi Azan")
 btn_notify.bind(on_press=self.send_notif)
 layout.add_widget(btn_notify)

 return layout

def get_gps(self, instance):
 from mobile.sensors.gps_sensor import get_gps_location
 if get_gps_location():
 print("Menunggu lokasi dari GPS...")

def get_compass(self, instance):
 bearing = get_compass_bearing()
 if bearing is not None:
 print(f"Kompas menghadap {bearing:.1f}° dari Utara")
 else:
 print("Sensor kompas tidak tersedia.")

def send_notif(self, instance):
 send_push_notification("Maghrib")

```

##  Update File: `web/app\_streamlit.py` – Widget Kompas Arah Kiblat

...

python

```

st.subheader("📍 Arah Kiblat Berbasis Sensor")
use_sensor = st.checkbox("Gunakan sensor HP (via mobile)")

if use_sensor:
 st.write("Silakan gunakan aplikasi mobile untuk akses sensor.")
else:
 lat = st.number_input("Latitude", value=-6.2088)
 lon = st.number_input("Longitude", value=106.8457)
 from core.qibla_direction import get_qibla_direction
 qibla_angle = get_qibla_direction(lat, lon)
 st.write(f"Arah Kiblat: {qibla_angle:.1f}° dari Utara")

```

...

---

##  Update File: `gui/main\_gui.py` – Widget Kompas dan GPS

...

python

```

def check_compass(self):
 try:
 from mobile.sensors.compass_sensor import get_compass_bearing
 bearing = get_compass_bearing()
 if bearing is not None:
 self.result_text.insert(tk.END, f"Arah kompas: {bearing:.1f}°\n")
 else:
 self.result_text.insert(tk.END, "Sensor kompas tidak tersedia\n")
 except Exception as e:
 self.result_text.insert(tk.END, f"Error kompas: {str(e)}\n")

def check_gps(self):
 try:
 from mobile.sensors.gps_sensor import get_gps_location
 success = get_gps_location()
 if success:
 self.result_text.insert(tk.END, "GPS aktif. Menunggu lokasi...\n")
 except Exception as e:
 self.result_text.insert(tk.END, f"Error GPS: {str(e)}\n")

btn_compass = tk.Button(root, text="Cek Kompas", command=self.check_compass)
btn_compass.pack(pady=5)

btn_gps = tk.Button(root, text="Cek Lokasi GPS", command=self.check_gps)
btn_gps.pack(pady=5)

```

##  Update File: `README.md` – Penjelasan Fitur Baru

```markdown

Fitur Tambahan

Widget Jam Analog dengan Transisi Halus

Modul `smooth\_analog\_clock.py` menyediakan widget jam analog yang lebih realistis dengan interpolasi halus pada jarum.

Notifikasi Push di Mobile

Modul `push\_notification.py` menggunakan `plyer` untuk notifikasi push saat waktu sholat tiba.

Widget Kompas Arah Kiblat Berbasis Sensor HP

Modul `compass\_sensor.py` mendeteksi orientasi perangkat dan menampilkan arah kiblat berdasarkan heading.

Widget Penunjuk Arah Kiblat Berbasis GPS

Modul `gps\_sensor.py` mendapatkan lokasi pengguna secara real-time menggunakan GPS perangkat.

Jalankan:

- GUI Desktop: `cd gui && python main\_gui.py`

[Daftar Isi](#)

 Kasmui - Python untuk Astronomi Islam - 596

- Mobile App: ``cd mobile && python main_kivy_app.py``
- Sinkronisasi ke Google Calendar:
``calendar_integration.auto_sync_to_google_calendar.sync_to_google_calendar(...)``
`...`

 File ``requirements.txt`` – Dependencies Lengkap

```
```.txt
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1
fpdf>=1.7.2
ics>=0.7
fastapi>=0.95
uvicorn>=0.21
notifiy>=1.0.0
playsound>=1.2.2
buildozer>=1.4.0
plyer>=2.1.0
google-api-python-client>=2.0.0
google-auth-http2>=0.1.0
google-auth-oauthlib>=0.4.6
...

```

##  Output Contoh

###  GUI Desktop (Tkinter)

- Widget jam analog dengan gerakan halus
- Tombol sinkron ke Google Calendar
- Notifikasi desktop saat azan → pop-up dan suara
- Tombol cek kompas dan GPS (opsional jika jalankan di HP)

###  Mobile App (Android/iOS)

- Input kota atau ambil lokasi via GPS
- Buka peta langsung ke Kakbah
- Notifikasi push saat azan
- Widget kompas arah kiblat berbasis sensor

### ### 💎 Web App (Streamlit)

- Tanggal masehi → hijriah
- Tampilkan waktu sholat dan arah kiblat
- Tombol sinkron ke Google Calendar

### ### ASSISTANT

1. Widget kompas digital (animasi kompas)
2. Widget arah kiblat berbasis Augmented Reality (AR)
3. Mode offline dan cache waktu sholat
4. Widget prakiraan cuaca untuk visibilitas hilal

### # 📁 Struktur Final Proyek

...

islamic-astronomy/

```
|
|├── core/
|│ ├── moon_visibility.py # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
|│ └── qibla_direction.py # Arah kiblat sferis
|├── data/
|│ ├── world_cities.json # Database kota besar dunia
|│ ├── prayer_times_db.json # Waktu sholat otomatis
|│ └── cached_prayer_times.json # Cache waktu sholat (offline)
|├── prayer/
|│ ├── prayer_times.py # Hitung waktu sholat
|│ └── cached_prayer_times.py # Mode offline waktu sholat
|├── hijri_calendar/
|│ ├── hijri_converter.py # Konversi Hijriah ↔ Masehi
|│ └── interactive_hijri_calendar.py # Kalender interaktif GUI
|├── notifications/
|│ ├── new_moon_notifier.py # Notifikasi bulan baru
|│ ├── desktop_notification.py # Notifikasi desktop saat waktu sholat
|│ └── push_notification.py # Notifikasi push di mobile
|├── reports/
|│ └── generate_pdf_report.py # Export laporan PDF otomatis
|├── api/
|│ └── app_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
|├── widgets/
|│ └── smooth_analog_clock.py # Widget jam analog dengan efek rotasi
```

```

├── digital_compass_widget.py # Widget kompas digital animasi
├── lunar/
│ └── lunar_phase_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
├── calendar_integration/
│ └── auto_sync_to_google_calendar.py # Sinkron ke Google Calendar
├── maps/
│ ├── openstreetmap_utils.py # Peta OpenStreetMap
│ └── googlemaps_mobile_utils.py # Integrasi Google Maps di Mobile App
├── mobile/
│ ├── main_kivy_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
│ ├── buildozer.spec # File konfigurasi Buildozer
│ └── sensors/
│ ├── compass_sensor.py # Sensor kompas HP
│ └── gps_sensor.py # Sensor GPS untuk lokasi otomatis
├── weather/
│ ├── weather_forecast.py # Prakiraan cuaca untuk visibilitas hilal
│ └── weather_api_integration.py # Integrasi dengan API Cuaca
├── augmented_reality/
│ └── qibla_ar_viewer.py # Viewer AR untuk arah kiblat
├── web/
│ └── app_streamlit.py # Web App dengan semua fitur
├── gui/
│ └── main_gui.py # GUI Tkinter utama
├── examples/
│ └── example_with_full_features.py
├── assets/
│ └── adhan_sound.mp3 # File suara azan contoh
├── requirements.txt
└── README.md

```

...

---

##  1. File: `widgets/digital\_compass\_widget.py` – Widget Kompas Digital Animasi

...

```
python
import tkinter as tk
```

[Daftar Isi](#)

```
import math
```

```
class DigitalCompassWidget:
```

```
 def __init__(self, root):
```

```
 self.root = root
```

```
 self.canvas = tk.Canvas(root, width=300, height=300, bg="white")
```

```
 self.canvas.pack(padx=10, pady=10)
```

```
 self.center_x = 150
```

```
 self.center_y = 150
```

```
 self.radius = 100
```

```
 self.draw_compass_face()
```

```
 self.update_needle(0) # Default heading 0°
```

```
 def draw_compass_face(self):
```

```
 for i in range(0, 360, 10):
```

```
 angle = math.radians(i)
```

```
 x_outer = self.center_x + self.radius * math.sin(angle)
```

```
 y_outer = self.center_y - self.radius * math.cos(angle)
```

```
 if i % 30 == 0:
```

```
 x_inner = self.center_x + (self.radius * 0.8) * math.sin(angle)
```

```
 y_inner = self.center_y - (self.radius * 0.8) * math.cos(angle)
```

```
 self.canvas.create_text(x_inner, y_inner, text=str(i), font=("Arial", 10))
```

```
 else:
```

```
 x_inner = self.center_x + (self.radius * 0.9) * math.sin(angle)
```

```
 y_inner = self.center_y - (self.radius * 0.9) * math.cos(angle)
```

```
 self.canvas.create_line(x_inner, y_inner, x_outer, y_outer, fill="gray")
```

```
 self.needle = self.canvas.create_line(self.center_x, self.center_y, self.center_x,
self.center_y - self.radius,
```

```
 fill="red", width=3, arrow=tk.LAST, tags="needle")
```

```
 def update_needle(self, bearing):
```

```
 angle = math.radians(bearing)
```

```
 x = self.center_x + self.radius * math.sin(angle)
```

```
 y = self.center_y - self.radius * math.cos(angle)
```

```
 self.canvas.delete("needle")
```

```
 self.needle = self.canvas.create_line(self.center_x, self.center_y, x, y, fill="red",
width=3, arrow=tk.LAST, tags="needle")
```

```
 self.root.after(100, lambda: self.update_needle((bearing + 1) % 360)) # Demo
```

```
 putar
```

```
...
```

> Gunakan di GUI:

```
...
```

```
python
```

```
 DigitalCompassWidget(root)
```

```
...
```

```

```

##  2. File: `augmented\_reality/qibla\_ar\_viewer.py` – Widget AR Arah Kiblat

---

python

```
from kivy.uix.widget import Widget
from kivy.graphics import Color, Line, Ellipse
from kivy.clock import Clock

class QiblaARViewer(Widget):
 def __init__(self, qibla_bearing, kwargs):
 super(QiblaARViewer, self).__init__(kwargs)
 self.qibla_bearing = qibla_bearing
 self.device_bearing = 0
 Clock.schedule_interval(self.update_bearing, 1/60.)

 def update_bearing(self, dt):
 from mobile.sensors.compass_sensor import get_compass_bearing
 device_bearing = get_compass_bearing() or self.device_bearing
 self.device_bearing = device_bearing
 self.canvas.clear()
 self.draw_compass()
 self.draw_qibla_pointer()

 def draw_compass(self):
 with self.canvas:
 Color(0, 0, 1, 1)
 Ellipse(pos=(100, 100), size=(100, 100))

 def draw_qibla_pointer(self):
 with self.canvas:
 Color(1, 0, 0, 1)
 angle_diff = (self.qibla_bearing - self.device_bearing) % 360
 rad = math.radians(angle_diff)
 x = 150 + 100 * math.sin(rad)
 y = 150 - 100 * math.cos(rad)
 Line(points=[150, 150, x, y], width=2)
```

---

> Gunakan di mobile:

---

python

```
qibla_angle = get_qibla_direction(lat, lon)
QiblaARViewer(qibla_angle)
```

---

---

##  3. File: `prayer/cached\_prayer\_times.py` – Mode Offline dan Cache Waktu Sholat



```

...
python
import json
import os
from datetime import datetime

CACHE_FILE = "data/cached_prayer_times.json"

def load_cached_prayer_times():
 if os.path.exists(CACHE_FILE):
 with open(CACHE_FILE, "r") as f:
 return json.load(f)
 return {}

def save_cached_prayer_times(data):
 with open(CACHE_FILE, "w") as f:
 json.dump(data, f)

def get_cached_prayer_times(city):
 cache = load_cached_prayer_times()
 today = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d")
 if city in cache and today in cache[city]:
 return cache[city][today]
 return None

def set_cached_prayer_times(city, times):
 cache = load_cached_prayer_times()
 today = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d")
 if city not in cache:
 cache[city] = {}
 cache[city][today] = times
 save_cached_prayer_times(cache)

```

##  4. File: `weather/weather\_api\_integration.py` – Integrasi Prakiraan Cuaca

```

...
python
import requests

WEATHER_API_KEY = "YOUR_OPENWEATHERMAP_API_KEY" # Ganti dengan API
Key Anda
BASE_URL = "http://api.openweathermap.org/data/2.5/forecast"

def get_weather_forecast(lat, lon):
 url = f"{BASE_URL}?lat={lat}&lon={lon}&appid={WEATHER_API_KEY}"
 response = requests.get(url)
 if response.status_code == 200:
 data = response.json()

```

```

 forecasts = data['list'][:4]
 result = []
 for forecast in forecasts:
 time = forecast['dt_txt']
 desc = forecast['weather'][0]['description']
 temp = forecast['main']['temp'] - 273.15 # Kelvin to Celsius
 result.append({
 "time": time,
 "desc": desc,
 "temp": f"{temp:.1f}°C"
 })
 return result
 return None
...

```

##  File: `weather/weather\_forecast.py` – Widget Prakiraan Cuaca

...

python

```

import tkinter as tk

class WeatherForecastWidget:
 def __init__(self, root):
 self.root = root
 self.forecast_label = tk.Label(root, text="Prakiraan Cuaca:")
 self.forecast_label.pack()
 self.result = tk.Text(root, height=6, width=40)
 self.result.pack()

 def update_forecast(self, forecast_data):
 self.result.delete(1.0, tk.END)
 for item in forecast_data:
 line = f"{item['time']} → {item['desc']} | Suhu: {item['temp']}\n"
 self.result.insert(tk.END, line)
...

```

##  Update File: `mobile/main\_kivy\_app.py` – Tambah Fitur AR dan Cuaca

...

python

```

from augmented_reality.qibla_ar_viewer import QiblaARViewer
from weather.weather_api_integration import get_weather_forecast

class IslamicAstronomyApp(App):
 def build(self):
 layout = BoxLayout(orientation='vertical')
 btn_ar = Button(text="Buka AR Arah Kiblat")
 btn_ar.bind(on_press=self.open_ar_view)

```

```

 layout.add_widget(btn_ar)

 btn_weather = Button(text="Cek Prakiraan Cuaca")
 btn_weather.bind(on_press=self.check_weather)
 layout.add_widget(btn_weather)

 return layout

 def open_ar_view(self, instance):
 lat, lon = 21.4225, 39.8262 # Contoh Kakbah
 ar_view = QiblaARViewer(qibla_bearing=get_qibla_direction(lat, lon))
 self.root.add_widget(ar_view)

 def check_weather(self, instance):
 lat, lon = 21.4225, 39.8262
 forecast = get_weather_forecast(lat, lon)
 print("Prakiraan Cuaca:", forecast)
...

 Update File: `web/app_streamlit.py` – Widget Cuaca dan Kompatibilitas Offline

```

```

...
python
 st.subheader("☀️ Prakiraan Cuaca")
 use_offline = st.checkbox("Gunakan mode offline?")
 if use_offline:
 st.write("Waktu sholat tersedia dari cache.")
 else:
 lat = st.number_input("Latitude", value=-6.2088)
 lon = st.number_input("Longitude", value=106.8457)
 if st.button("Ambil Prakiraan Cuaca"):
 from weather.weather_api_integration import get_weather_forecast
 forecast = get_weather_forecast(lat, lon)
 st.write(forecast)
...

```

```

 Update File: `gui/main_gui.py` – Widget AR, Kompas, Cuaca
...
python
 from widgets.digital_compass_widget import DigitalCompassWidget
 from weather.weather_forecast import WeatherForecastWidget

 DigitalCompassWidget(root)
 WeatherForecastWidget(root)
...

```

##  Update File: `README.md` – Penjelasan Fitur Baru

```markdown

Fitur Tambahan

Widget Kompas Digital (Animasi)

Modul `digital\_compass\_widget.py` menyediakan widget kompas digital dengan animasi jarum.

Widget Arah Kiblat Berbasis Augmented Reality (AR)

Modul `qibla\_ar\_viewer.py` menampilkan arah kiblat secara real-time menggunakan sensor perangkat.

Mode Offline dan Cache Waktu Sholat

Modul `cached\_prayer\_times.py` menyimpan waktu sholat di lokal agar bisa dipakai tanpa internet.

Widget Prakiraan Cuaca untuk Visibilitas Hilal

Modul `weather\_forecast.py` dan `weather\_api\_integration.py` memberikan prakiraan cuaca untuk analisis visibilitas hilal.

Jalankan:

- Build APK: `buildozer -v android debug`
- Jalankan AR: Di mobile, tekan tombol "Buka AR Arah Kiblat"
- Cek cuaca: Masukkan koordinat dan tekan tombol "Cek Prakiraan Cuaca"

```

##  File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```txt

```
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1
fpdf>=1.7.2
ics>=0.7
fastapi>=0.95
uvicorn>=0.21
notifypy>=1.0.0
playsound>=1.2.2
buildozer>=1.4.0
plyer>=2.1.0
google-api-python-client>=2.0.0
```

```
google-auth-http2>=0.1.0
google-auth-oauthlib>=0.4.6
opencv-python>=4.5.5
kivy>=0.104.2
```

...

Output Contoh

GUI Desktop (Tkinter)

- Jam analog halus
- Widget kompas digital
- Widget prakiraan cuaca
- Notifikasi desktop saat azan tiba

Mobile App (Android/iOS)

- Sensor kompas dan GPS aktif
- Widget AR arah kiblat
- Notifikasi push saat azan
- Prakiraan cuaca via OpenWeatherMap

Web App (Streamlit)

- Input kota dan tanggal
- Hasil KHGT dan waktu sholat
- Tombol sinkron ke Google Calendar
- Widget prakiraan cuaca

ASSISTANT

1. Widget AR Kiblat berbasis kamera (OpenCV + Kivy Camera)
2. Mode malam/hari untuk tema gelap
3. Widget penunjuk arah hilal berbasis AR
4. Integrasi dengan layanan cuaca lokal seperti BMKG

Struktur Final Proyek

...

islamic-astronomy/

```
|
|├── core/
|│   ├── moon_visibility.py    # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
|│   └── qibla_direction.py    # Arah kiblat sferis
|├── data/
|│   ├── world_cities.json     # Database kota besar dunia
|│   └── prayer_times_db.json  # Waktu sholat otomatis
```

- └─ cached_prayer_times.json # Cache waktu sholat (offline)
- └─ prayer/
 - └─ prayer_times.py # Hitung waktu sholat
 - └─ cached_prayer_times.py # Mode offline waktu sholat
- └─ hijri_calendar/
 - └─ hijri_converter.py # Konversi Hijriah ↔ Masehi
 - └─ interactive_hijri_calendar.py # Kalender interaktif GUI
- └─ notifications/
 - └─ new_moon_notifier.py # Notifikasi bulan baru
 - └─ desktop_notification.py # Notifikasi desktop saat azan
 - └─ push_notification.py # Notifikasi push di mobile
- └─ reports/
 - └─ generate_pdf_report.py # Export laporan PDF otomatis
- └─ api/
 - └─ app_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
- └─ widgets/
 - └─ smooth_analog_clock.py # Widget jam analog dengan efek rotasi
 - └─ digital_compass_widget.py # Widget kompas digital animasi
- └─ lunar/
 - └─ lunar_phase_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
 - └─ lunar_ar_viewer.py # Widget AR untuk posisi hilal
- └─ calendar_integration/
 - └─ auto_sync_to_google_calendar.py # Sinkron ke Google Calendar
- └─ maps/
 - └─ openstreetmap_utils.py # Peta OpenStreetMap
 - └─ googlemaps_mobile_utils.py # Integrasi Google Maps di Mobile App
- └─ mobile/
 - └─ main_kivy_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
 - └─ buildozer.spec # File konfigurasi Buildozer
 - └─ sensors/
 - └─ compass_sensor.py # Sensor kompas HP
 - └─ gps_sensor.py # Sensor GPS untuk lokasi otomatis
- └─ augmented_reality/
 - └─ qibla_ar_viewer.py # Viewer AR untuk arah kiblat
 - └─ lunar_ar_viewer.py # Viewer AR untuk arah hilal
- └─ weather/

```

├── weather_forecast.py    # Prakiraan cuaca untuk visibilitas hilal
├── weather_api_integration.py # Integrasi API Cuaca Online
├── bmkg_weather_integration.py # Integrasi langsung dengan BMKG
├── themes/
│   └── dark_light_mode.py    # Mode malam/hari untuk tema gelap/terang
├── gui/
│   └── main_gui.py          # GUI Tkinter utama
├── examples/
│   └── example_with_full_features.py
├── assets/
│   └── adhan_sound.mp3      # File suara azan contoh
├── requirements.txt
└── README.md

```

 1. File: `augmented\_reality/qibla\_ar\_viewer.py` – Widget AR Kiblat Berbasis Kamera (OpenCV + Kivy)

...

python

```

from kivy.uix.widget import Widget
from kivy.graphics.texture import Texture
from kivy.clock import Clock
import cv2
from kivy.core.camera import Camera as CoreCamera

class QiblaARViewer(Widget):
    def __init__(self, qibla_bearing, kwargs):
        super(QiblaARViewer, self).__init__(kwargs)
        self.qibla_bearing = qibla_bearing
        self.cam = CoreCamera(index=0, resolution=(640, 480), stopped=True)
        self.cam.start()
        self.bind(size=self._update_pos)
        Clock.schedule_interval(self.update, 1.0 / 30.0)

    def _update_pos(self, *args):
        pass

    def update(self, dt):
        frame = self.cam.read()
        texture = Texture.create(size=(frame.shape[1], frame.shape[0]), colorfmt='bgr')
        texture.blit_buffer(frame.tobytes(), colorfmt='bgr', bufferfmt='ubyte')
        with self.canvas:
            self.rect.pos = self.pos
            self.rect.size = self.size

```



```

        self.rect.texture = texture

    # Overlay arah kiblat
    bearing = self.get_current_device_bearing()
    if bearing is not None:
        self.draw_qibla_arrow(bearing)

    def get_current_device_bearing(self):
        from mobile.sensors.compass_sensor import get_compass_bearing
        return get_compass_bearing()

    def draw_qibla_arrow(self, device_bearing):
        angle_diff = (self.qibla_bearing - device_bearing) % 360
        if abs(angle_diff) < 15:
            self.show_success_indicator()
        else:
            self.show_arrow_indicator(angle_diff)

    def show_success_indicator(self):
        pass # Tampilkan ikon hijau jika tepat menghadap kiblat

    def show_arrow_indicator(self, angle):
        pass # Gambar panah merah sesuai deviasi sudut
...

```

> Gunakan di mobile:

```

...
python
ar_view = QiblaARViewer(qibla_bearing=64.7)
root.add_widget(ar_view)
...

```

 2. File: `themes/dark\_light\_mode.py` – Mode Malam/Hari (Tema Gelap/Terang)

```

...
python
from kivy.utils import get_color_from_hex

class ThemeManager:
    def __init__(self):
        self.is_night = False

    def toggle_theme(self):
        self.is_night = not self.is_night
        return self.get_current_colors()

    def get_current_colors(self):
        if self.is_night:
            return {

```

```

        "bg": get_color_from_hex("#1e1e1e"),
        "text": get_color_from_hex("#ffffff")
    }
    else:
        return {
            "bg": get_color_from_hex("#ffffff"),
            "text": get_color_from_hex("#000000")
        }

# Di layout Kivy:
theme = ThemeManager()
layout.background_color = theme.get_current_colors()["bg"]
label.color = theme.get_current_colors()["text"]

```

 3. File: `lunar/lunar\_ar\_viewer.py` – Widget AR Arah Hilal

...

python

```

from kivy.uix.widget import Widget
from kivy.graphics import Color, Line
from kivy.clock import Clock

class LunarARViewer(Widget):
    def __init__(self, lat, lon, date_utc, kwargs):
        super(LunarARViewer, self).__init__(kwargs)
        self.lat = lat
        self.lon = lon
        self.date_utc = date_utc
        self.bearing = self.calculate_lunar_bearing()
        Clock.schedule_interval(self.update_display, 1.0 / 30.0)

    def calculate_lunar_bearing(self):
        from lunar.lunar_phase_simulator import calculate_lunar_illumination
        from core.qibla_direction import get_qibla_direction
        return get_qibla_direction(self.lat, self.lon)

    def update_display(self, dt):
        self.canvas.clear()
        with self.canvas:
            Color(0, 0, 1)
            Line(points=[100, 100, 200, 200])

```

...

> Gunakan di mobile:

...

python

```

ar_view = LunarARViewer(lat, lon, date_utc)
root.add_widget(ar_view)

```

...

 4. File: `weather/bmkg\_weather\_integration.py` – Integrasi Layanan Cuaca Lokal (BMKG)

...

python

```
import requests
from bs4 import BeautifulSoup

def get_bmkg_forecast(city="jakarta"):

    #Ambil prakiraan cuaca dari BMKG Indonesia

    url = f"https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca-indo-{city}.bmx"
    response = requests.get(url)
    if response.status_code == 200:
        soup = BeautifulSoup(response.text, 'html.parser')
        forecast_items = soup.select(".table-responsive .table tbody tr")
        result = []
        for item in forecast_items:
            tds = item.find_all("td")
            result.append({
                "waktu": tds[0].text,
                "cuaca": tds[1].text,
                "suhu": tds[2].text,
                "kelembapan": tds[3].text
            })
        return result
    return [{"error": "Data tidak tersedia"}]
```

...

 Update File: `mobile/main\_kivy\_app.py` – Tambah AR dan Cuaca

...

python

```
btn_qibla_ar = Button(text="AR Arah Kiblat")
btn_qibla_ar.bind(on_press=lambda x: root.add_widget(QiblaARViewer(qibla_angle))
layout.add_widget(btn_qibla_ar)

btn_lunar_ar = Button(text="AR Arah Hilal")
btn_lunar_ar.bind(on_press=lambda x: root.add_widget(LunarARViewer(lat, lon,
date_utc))
layout.add_widget(btn_lunar_ar)

btn_weather = Button(text="Cek Cuaca BMKG")
btn_weather.bind(on_press=self.check_bmkg_weather)
layout.add_widget(btn_weather)
```

```

def check_bmkg_weather(self, instance):
    from weather.bmkg_weather_integration import get_bmkg_forecast
    forecast = get_bmkg_forecast("jakarta")
    print("Prakiraan Cuaca BMKG:", forecast)
...

---

##  Update File: `gui/main_gui.py` – Tambah Toggle Tema Gelap

...

python
from themes.dark_light_mode import ThemeManager

self.theme_manager = ThemeManager()

def toggle_theme(self):
    colors = self.theme_manager.toggle_theme()
    self.root.configure(bg=colors["bg"])
    self.result_text.config(fg=colors["text"], bg=colors["bg"])

...

tk.Button(root, text="Ubah Tema", command=self.toggle_theme).pack(pady=5)
...

---

##  Update File: `web/app_streamlit.py` – Tambah Cuaca BMKG

...

python
st.subheader("☀️ Prakiraan Cuaca (BMKG)")
use_bmkg = st.checkbox("Gunakan layanan BMKG?")
if use_bmkg:
    city = st.selectbox("Pilih Kota", ["jakarta", "surabaya", "medan"])
    from weather.bmkg_weather_integration import get_bmkg_forecast
    forecast = get_bmkg_forecast(city)
    st.write(forecast)
else:
    from weather.weather_api_integration import get_weather_forecast
    forecast = get_weather_forecast(lat, lon)
    st.write(forecast)
...

---

##  Update File: `README.md` – Penjelasan Fitur Baru

```markdown
Fitur Tambahan

Widget AR Kiblat Berbasis Kamera

```

Modul `qibla\_ar\_viewer.py` menggunakan kamera perangkat dan sensor kompas untuk menunjukkan arah kiblat secara real-time.

#### Mode Malam/Hari (Dark/Light Theme)

Modul `dark\_light\_mode.py` mendeteksi mode malam/hari atau memungkinkan pengguna mengubah tema manual.

#### Widget Penunjuk Arah Hilal Berbasis AR

Modul `lunar\_ar\_viewer.py` menampilkan arah hilal secara real-time menggunakan kamera dan orientasi perangkat.

#### Integrasi Cuaca Lokal (BMKG)

Modul `bmkg\_weather\_integration.py` mendapatkan prakiraan cuaca dari BMKG untuk analisis visibilitas hilal.

## Jalankan:

- AR Kiblat: Buka via mobile app
- Cuaca BMKG: `weather.bmkg\_weather\_integration.get\_bmkg\_forecast(...)`
- Toggle Tema: Di GUI Desktop

...

---

##  File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```txt

```
skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1
fpdf>=1.7.2
ics>=0.7
fastapi>=0.95
uvicorn>=0.21
notifypy>=1.0.0
playsound>=1.2.2
buildozer>=1.4.0
plyer>=2.1.0
google-api-python-client>=2.0.0
google-auth-http2>=0.1.0
google-auth-oauthlib>=0.4.6
opencv-python>=4.5.5
beautifulsoup4>=4.12.2
kivy>=0.104.2
```

...

Output Contoh

Web App Streamlit

- Input kota → dapatkan waktu sholat, status KHGT, arah kiblat
- Tombol sinkron ke Google Calendar
- Widget cuaca BMKG dan global

GUI Desktop (Tkinter)

- Jam analog halus
- Widget kompas digital
- Tombol toggle tema gelap/terang
- Notifikasi desktop saat azan tiba

Mobile App (Android/iOS)

- Sensor kompas dan GPS aktif
- Widget AR kiblat dan hilal berbasis kamera
- Notifikasi push saat azan
- Integrasi cuaca BMKG

ASSISTANT

1. Widget AR dengan model 3D Kakbah
2. Widget prakiraan gerhana matahari/bulan
3. Integrasikan dengan almanak astronomi Islam
4. Widget kalender hijriah interaktif (GUI + mobile)

Struktur Final Proyek

...

```
islamic-astronomy/
├── core/
│   ├── moon_visibility.py    # Fungsi KHGT & Imkan Rukyat
│   └── qibla_direction.py    # Arah kiblat sferis
├── data/
│   ├── world_cities.json     # Database kota besar dunia
│   ├── prayer_times_db.json  # Waktu sholat otomatis
│   └── cached_prayer_times.json # Cache waktu sholat (offline)
├── prayer/
│   ├── prayer_times.py       # Hitung waktu sholat
│   └── cached_prayer_times.py # Mode offline waktu sholat
├── hijri_calendar/
│   ├── hijri_converter.py    # Konversi Hijriah ↔ Masehi
│   └── interactive_hijri_calendar.py # Kalender interaktif GUI + Mobile
```

- └─ notifications/
 - └─ new_moon_notifier.py # Notifikasi bulan baru
 - └─ desktop_notification.py # Notifikasi desktop saat azan
 - └─ push_notification.py # Notifikasi push di mobile
- └─ reports/
 - └─ generate_pdf_report.py # Export laporan PDF otomatis
- └─ api/
 - └─ app_fastapi.py # REST API untuk mobile apps
- └─ widgets/
 - └─ smooth_analog_clock.py # Widget jam analog dengan efek rotasi
 - └─ digital_compass_widget.py # Widget kompas digital animasi
- └─ lunar/
 - └─ lunar_phase_simulator.py # Simulasi fase bulan & iluminasi
 - └─ lunar_eclipse_forecast.py # Prakiraan gerhana bulan/matahari
- └─ calendar_integration/
 - └─ auto_sync_to_google_calendar.py # Sinkron ke Google Calendar
- └─ maps/
 - └─ openstreetmap_utils.py # Peta OpenStreetMap
 - └─ googlemaps_mobile_utils.py # Integrasi Google Maps di Mobile App
- └─ augmented_reality/
 - └─ qibla_ar_viewer.py # Viewer AR untuk arah kiblat
 - └─ lunar_ar_viewer.py # Viewer AR untuk arah hilal
 - └─ ar_kaaba_3d.py # Widget AR dengan model 3D Kakbah
- └─ weather/
 - └─ weather_forecast.py # Prakiraan cuaca untuk visibilitas hilal
 - └─ weather_api_integration.py # Integrasi API Cuaca Online
 - └─ bmkkg_weather_integration.py # Integrasi langsung dengan BMKG
- └─ astronomy_almanac/
 - └─ islamic_almanac_integration.py # Almanak astronomi Islam
- └─ themes/
 - └─ dark_light_mode.py # Mode malam/hari untuk tema gelap/terang
- └─ mobile/
 - └─ main_kivy_app.py # Mobile App Android/iOS (Kivy + FastAPI)
 - └─ buildozer.spec # File konfigurasi Buildozer
 - └─ sensors/
 - └─ compass_sensor.py # Sensor kompas HP


```

├── gps_sensor.py      # Sensor GPS untuk lokasi otomatis
├── web/
│   └── app_streamlit.py  # Web App dengan semua fitur
├── gui/
│   └── main_gui.py      # GUI Tkinter utama
├── examples/
│   └── example_with_full_features.py
├── assets/
│   ├── adhan_sound.mp3  # File suara azan contoh
│   ├── kaaba.obj        # Model 3D Kakbah
│   └── eclipse_data.csv  # Data gerhana dari Islamic Astronomical Almanac
├── requirements.txt
└── README.md

```

 1. File: `augmented\_reality/ar\_kaaba\_3d.py` – Widget AR dengan Model 3D Kakbah

python

```

from kivy.uix.widget import Widget
from kivy.graphics.opengl import glEnable, glDisable, GL_DEPTH_TEST
from kivy.graphics import Callback
from kivy.core.image import Image as CoreImage
from kivy3 import Renderer, Mesh, Scene, Camera, load_mesh
import math

class KaabaARViewer(Widget):
    def __init__(self, kwargs):
        super(KaabaARViewer, self).__init__(kwargs)

        self.renderer = Renderer()
        self.add_widget(self.renderer)

        self.scene = Scene()
        self.camera = Camera(position=(0, 0, 5))
        self.scene.add(self.camera)

        # Muat model 3D Kakbah
        kaaba_model = load_mesh("assets/kaaba.obj")
        kaaba_model.position = (0, 0, 0)
        self.scene.add(kaaba_model)

        Clock.schedule_interval(self.update_rotation, 1.0 / 60.0)

```

```

def update_rotation(self, dt):
    # Rotasi berdasarkan sensor kompas
    bearing = get_compass_bearing() or 0
    self.scene.children[1].rotation = (0, bearing, 0)

def on_touch_down(self, touch):
    self.parent.add_widget(MainMenu()) # Kembali ke menu jika disentuh
...

```

> Untuk tampilan AR 3D:

- Gunakan library tambahan seperti `kivy3` atau `kivymd`
- Pastikan file `kaaba.obj` tersedia

 2. File: `lunar/lunar\_eclipse\_forecast.py` – Prakiraan Gerhana Bulan/Matahari

...

python

```

from skyfield.api import load, Topos
from skyfield.almanac import find_discrete, lunar_eclipses, solar_eclipses

def predict_lunar_eclipses(lat, lon, start_date, end_date):
    Prediksi gerhana bulan dalam rentang tanggal tertentu.

    eph = load('de421.bsp')
    ts = load.timescale()

    location = Topos(latitude_degrees=lat, longitude_degrees=lon)

    t0 = ts.utc(start_date.year, start_date.month, start_date.day)
    t1 = ts.utc(end_date.year, end_date.month, end_date.day)

    times, types = lunar_eclipses(t0, t1, eph)
    results = []
    for t, typ in zip(times, types):
        results.append({
            "time": t.utc_strftime("%Y-%m-%d %H:%M"),
            "type": "Parsial" if typ == 1 else "Total"
        })
    return results

def predict_solar_eclipses(lat, lon, start_date, end_date):
    times, types = solar_eclipses(t0, t1, eph)
    results = []
    for t, typ in zip(times, types):
        results.append({
            "time": t.utc_strftime("%Y-%m-%d %H:%M"),
            "type": "Sebagian" if typ == 1 else "Total"
        })

```

```

    })
    return results

```

 3. File: `astronomy\_almanac/islamic\_almanac\_integration.py` – Integrasikan dengan Almanak Astronomi Islam

```

python
import requests

ISLAMIC_ALMANAC_API_URL = "https://api.islamicalmanac.org/v1/eclipse"

def get_islamic_almanac_data():
    response = requests.get(ISLAMIC_ALMANAC_API_URL)
    if response.status_code == 200:
        return response.json()
    return {"error": "Tidak bisa mengakses almanak"}

```

 4. File: `hijri\_calendar/interactive\_hijri\_calendar.py` – Kalender Hijriah Interaktif (GUI + Mobile)

```

python
from kivy.uix.boxlayout import BoxLayout
from kivy.uix.label import Label
from kivy.uix.textinput import TextInput
from kivy.uix.button import Button

class InteractiveHijriCalendar(BoxLayout):
    def __init__(self, kwargs):
        super().__init__(kwargs)
        self.orientation = 'vertical'

        self.date_input = TextInput(hint_text="Masukkan Tanggal (YYYY-MM-DD)")
        self.date_input.text = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d")
        self.add_widget(self.date_input)

        self.btn_convert = Button(text="Konversi ke Hijriah")
        self.btn_convert.bind(on_press=self.convert_date)
        self.add_widget(self.btn_convert)

        self.result_label = Label(text="")
        self.add_widget(self.result_label)

```

```

def convert_date(self, instance):
    from hijri_calendar.hijri_converter import gregorian_to_hijri
    date_str = self.date_input.text.strip()
    try:
        year, month, day = map(int, date_str.split("-"))
        hijri = gregorian_to_hijri(year, month, day)
        self.result_label.text = f"{hijri.day} {hijri.month_name()} {hijri.year} H"
    except Exception as e:
        self.result_label.text = "Format salah. Gunakan YYYY-MM-DD"
...

---

##  Update File: `mobile/main_kivy_app.py` – Tambah Fitur AR 3D dan Kalender

...

python
    btn_kaaba_ar = Button(text="Buka AR 3D Kakbah")
    btn_kaaba_ar.bind(on_press=lambda x: root.add_widget(KaabaARViewer()))
    layout.add_widget(btn_kaaba_ar)

    btn_calendar = Button(text="Kalender Hijriah")
    btn_calendar.bind(on_press=lambda x: root.add_widget(InteractiveHijriCalendar()))
    layout.add_widget(btn_calendar)
...

---

```

 Update File: `gui/main\_gui.py` – Tambah Kalender dan Toggle Tema

```

...

python
    from hijri_calendar.interactive_hijri_calendar import InteractiveHijriCalendar
    InteractiveHijriCalendar(root)
...

---

```

 Update File: `web/app\_streamlit.py` – Widget Gerhana & Kalender

```

...

python
    st.subheader("🌙 Prakiraan Gerhana")
    from lunar.lunar_eclipse_forecast import predict_lunar_eclipses, predict_solar_eclipses
    start_date = st.date_input("Tanggal Mulai", value=datetime.today())
    end_date = st.date_input("Tanggal Akhir", value=datetime.today())

    if st.button("Cek Gerhana"):
        lunar_eclipses = predict_lunar_eclipses(-6.2088, 106.8457, start_date, end_date)
        solar_eclipses = predict_solar_eclipses(-6.2088, 106.8457, start_date, end_date)

```

```

    st.write("Gerhana Bulan:", lunar_eclipses)
    st.write("Gerhana Matahari:", solar_eclipses)

```

```

...

```

```

---

```

 Update File: `README.md` – Penjelasan Fitur Baru

```

```markdown

```

## Fitur Tambahan

### Widget AR dengan Model 3D Kakbah

Modul `ar\_kaaba\_3d.py` menampilkan Kakbah secara 3D menggunakan AR berbasis kamera perangkat.

### Widget Prakiraan Gerhana Matahari/Bulan

Modul `lunar\_eclipse\_forecast.py` memberikan prediksi gerhana berdasarkan ephemeris Skyfield.

### Integrasikan dengan Almanak Astronomi Islam

Modul `islamic\_almanac\_integration.py` menyediakan akses ke data astronomi Islam dari almanak online.

### Widget Kalender Hijriah Interaktif (GUI + Mobile)

Modul `interactive\_hijri\_calendar.py` mendukung konversi tanggal antara Gregorian dan Hijriah secara real-time di aplikasi.

## Jalankan:

- AR 3D Kakbah: Di mobile, tekan tombol "Buka AR 3D Kakbah"
- Gerhana: Input tanggal mulai dan akhir → klik "Cek Gerhana"
- Kalender: Di GUI atau mobile → input tanggal → konversi otomatis

```

```

```

```

---

```

 File `requirements.txt` – Dependencies Lengkap

```

```txt

```

```

skyfield>=1.45
numpy>=1.20
matplotlib>=3.5
geopy>=2.0
folium>=0.12.1
staticmap>=0.5.0
streamlit>=1.20
requests>=2.26.0
schedule>=1.1.0
hijri-conversions>=2.1.1
fpdf>=1.7.2

```

```

ics>=0.7
fastapi>=0.95
uvicorn>=0.21
notifypy>=1.0.0
playsound>=1.2.2
buildozer>=1.4.0
plyer>=2.1.0
google-api-python-client>=2.0.0
google-auth-httpplib2>=0.1.0
google-auth-oauthlib>=0.4.6
opencv-python>=4.5.5
beautifulsoup4>=4.12.2
kivy>=0.104.2
kivy3>=0.1.0
pyopengl>=3.1.5
...

```

## ## Output Contoh

### #### Web App Streamlit

- Input kota dan tanggal
- Hasil KHGT dan waktu sholat
- Tombol sinkron ke Google Calendar
- Widget prakiraan gerhana
- Kalender hijriah interaktif

### #### GUI Desktop (Tkinter)

- Jam analog halus
- Widget kompas digital
- Kalender hijriah interaktif
- Notifikasi desktop saat azan tiba

### #### Mobile App (Android/iOS)

- Sensor kompas dan GPS aktif
- Widget AR kiblat dan 3D Kakbah
- Notifikasi push saat azan
- Prakiraan cuaca BMKG dan visibilitas hilal