

# ALGORITMA ASTROMETRI DAN KOMPUTASI WAKTU SALAT:

## Dekonstruksi Mekanika Langit dalam Arsitektur KHGT Times

**KHGT**  
GLOBAL TIMES  
17/04/2026 M

☾ Subuh	04:37
☀️ Sodu Fajar	
☀️ Syuruq	05:51
☀️ Sunrise	
🌄 Dhuha	06:14
☀️ Dhuha = 4.5°	
🏠 Dzuhr	12:10
🌄 Transit	
🏠 Ashar	15:28
🌄 Shadow Ratio	
☀️ Maghrib	18:28
☀️ Sunset	
☾ Isya	19:42
☾ E. Twi	
🌃 Tengah Malam	23:32
🌃 Mid/Last 1/3	81:14



KASMUI

# ALGORITMA ASTROMETRI DAN KOMPUTASI WAKTU SALAT:

## Dekonstruksi Mekanika Langit dalam Arsitektur KHGT Times

**17/04/2026 M**

Subuh	04:37
Sadul Fajar	
Syuruq	05:51
Sunnies	
Dhuha	06:14
Dhuha = 4.5°	
Dzuhur	12:10
Trensit	
Aahar	15:28
Shadow Ratio	
Maghrib	18:28
Saneet	
Isya	19:42
E. Twil	
Tengah Malam	23:32
Mid/Laot 1/8	81:14

**KASMUI**

# ALGORITMA ASTROMETRI DAN KOMPUTASI WAKTU SALAT: DEKONSTRUKSI MEKANIKA LANGIT DALAM ARSITEKTUR KHGT TIMES

**Penulis:** KASMUI

**Desain Sampul & Penata Letak:** KASMUI / Tim Artistik Penerbit

**Diterbitkan oleh:** Jaten & Siblings Gang Jaten, Patemon, Gunungpati, Kota Semarang

**Cetakan I, Edisi Tahun 2026**

*Hak Cipta 2026 pada Penulis. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang. Dilarang mengutip, memperbanyak, atau menerjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit, kecuali untuk kepentingan tinjauan pustaka atau resensi.*

---

## Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

**Kasmui** Algoritma Astrometri dan Komputasi Waktu Salat: Dekonstruksi Mekanika Langit dalam Arsitektur KHGT Times (Edisi I) -- Semarang: Jaten & Siblings, 2026. viii + 240 hlm; 21 x 29,7 cm.

ISBN: 978-623-4567-89-1

1. Sejarah Islam
2. Biografi Ibnu Batutah
3. Historiografi

**DDC: 297.092**

---

**Dicetak oleh Jaten Press**

## KATA PENGANTAR

---

### Bismillāhirrahmānirrahīm

Segala puji bagi Allah SWT, Sang Arsitek Alam Semesta, yang telah menegakkan langit tanpa tiang dan menetapkan orbit benda-benda langit dengan presisi yang absolut. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, yang risalahnya membawa cahaya ilmu pengetahuan dan membimbing umat manusia untuk membaca tanda-tanda kekuasaan Tuhan melalui keteraturan waktu.

Buku yang ada di hadapan Anda ini, "**Algoritma Astrometri dan Komputasi Waktu Salat: Dekonstruksi Mekanika Langit dalam Arsitektur KHGT Times**", disusun sebagai sebuah respon akademis terhadap evolusi paradigma penentuan waktu ibadah di era kontemporer. Penulisan buku ini dilatarbelakangi oleh sebuah urgensi krusial: transisi metodologis besar dalam dunia Islam, khususnya melalui inisiatif **Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT)**, yang menuntut akurasi data dan penyatuan kriteria waktu salat melampaui sekat-sekat geografis.

### Urgensi dan Gap Riset

Selama ini, literatur mengenai ilmu falak sering kali terjebak dalam dua kutub ekstrem: kutub fikih yang sangat mendalam namun sering kali tertinggal dalam aspek implementasi teknologi, atau kutub sains murni yang kaya akan data namun kering akan dimensi teologis-syar'i. Terdapat sebuah **gap riset** yang lebar dalam menjembatani bagaimana teks-teks *Bayani* (ayat dan hadis) diekstraksi menjadi logika *Burhani* (algoritma matematis) yang siap diimplementasikan ke dalam bahasa pemrograman modern.

Buku ini hadir untuk mengisi ruang kosong tersebut. Kita tidak lagi sekadar berbicara tentang "kapan" waktu salat tiba, tetapi secara kritis membedah "**bagaimana**" foton cahaya matahari berinteraksi dengan atmosfer bumi, dan bagaimana interaksi tersebut dikonversi menjadi fungsi inversi trigonometri bola yang presisi.

### Kebaruan Ide dan Kontribusi

Kebaruan (*novelty*) utama dalam karya ini adalah dekonstruksi algoritma yang tertanam dalam aplikasi **KHGT Times V7.3**. Di dalam buku ini, pembaca diajak untuk mengeksplorasi:

- **Integrasi Python dalam Astrometri:** Bagaimana pustaka saintifik modern menangani presepsi, nutasi, hingga koreksi *Delta T*.
- **Resolusi Anomali Lintang Ekstrem:** Memberikan solusi konkret terhadap masalah klasik *Math Domain Error* (NaN) pada wilayah sub-arktik melalui berbagai metode resolusi seperti *Aqrab al-Ayyam* dan *Nisf al-Lail*.
- **Kalibrasi Dinamis:** Memperhitungkan variabel meteorologi (suhu dan tekanan) untuk mendapatkan koreksi refraksi yang objektif.

Allah SWT berfirman mengenai ketetapan waktu yang telah diatur-Nya:

إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَّوْقُوتًا

*Artinya: "Sesungguhnya salat itu adalah fardhu yang ditentukan waktunya atas orang-orang yang beriman." (QS. An-Nisa: 103).*

Kata *mawquuta* (ditentukan waktunya) dalam ayat ini adalah basis dari seluruh riset dalam buku ini. Penentuan tersebut menuntut tanggung jawab keilmuan yang besar. Sebuah kesalahan dalam algoritma berarti kesalahan dalam memandu jutaan umat dalam menghadap Sang Khalik.

### **Struktur dan Harapan**

Buku ini disusun secara sistematis, dimulai dari fundamentasi trigonometri bola, analisis mendalam tiap-tiap waktu salat, hingga arsitektur rekayasa perangkat lunak. Penulis berupaya menyajikan analisis *deep-dive* yang tetap mudah dicerna oleh akademisi, praktisi falak, maupun pengembang perangkat lunak religi.

Semoga karya ini tidak hanya menjadi referensi non-fiksi yang otoritatif, tetapi juga menjadi amal jariyah yang terus mengalir, seiring dengan setiap detik yang dihitung oleh algoritma ini untuk memandu umat Islam bersujud kepada-Nya.

---

**Semarang, 18 April 2026**

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	4
<b>DAFTAR ISI</b> .....	6
<b>BAB 1: PENDAHULUAN: KOMPLEKSITAS FIKIH DALAM KOMPUTASI WAKTU</b> .....	8
1.1. Evolusi Sistem Penentuan Waktu Salat: Dari Observasi Visual ke Komputasi Astronomi .....	8
1.2. Research Gap: Kesenjangan antara Teks Klasik dan Permodelan Matematika Modern .....	10
1.3. Integrasi Astrometri dan Fikih Ibadah dalam Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT).....	11
1.4. Ruang Lingkup dan Signifikansi Parameter Dinamis .....	13
DAFTAR PUSTAKA BAB 1 .....	15
<b>BAB 2: LANDASAN SYAR'I: PRESISI WAKTU SEBAGAI SYARAT MUTLAK</b> .....	16
2.1. Ontologi Waktu (Mawquta) dalam Perspektif Al-Qur'an .....	16
2.2. Analisis Hadis tentang Fenomena Alam Visual (Fajar Shadiq, Bayangan, dan Syafak) .....	17
2.3. Pendekatan Bayani, Burhani, dan Irfani dalam Penentuan Jadwal Ibadah .....	19
2.4. Posisi Presisi Komputasi sebagai Pemenuhan Syarat Sah Salat (Implementasi Maqashid).....	21
DAFTAR PUSTAKA BAB 2 .....	23
<b>BAB 3: FUNDAMEN TRIGONOMETRI BOLA DAN MEKANIKA BENDA LANGIT</b> .....	24
3.1. Sistem Koordinat Ekuatorial dan Horizon .....	24
3.2. Deklinasi Matahari dan Dinamika Sudut Jam (Hour Angle) .....	25
3.3. Refraksi Atmosfer, Kerendahan Ufuk (Dip), dan Semi-Diameter Matahari.....	27
3.4. Formulasi Umum Ketinggian Matahari terhadap Sudut Jam (Model Matematis Dasar) .....	29
DAFTAR PUSTAKA BAB 3 .....	31
<b>BAB 4: DEKONSTRUKSI ALGORITMA: ZUHUR, ASAR, DAN MAGRIB</b> .....	32
4.1. Permodelan Kulminasi Atas (Meridian Transit) untuk Waktu Zuhur .....	32
4.2. Penentuan Ihtiyat (Safety Margin) Berdasarkan Lintang Pengamat.....	33
4.3. Waktu Asar: Komparasi Rasio Bayangan (Analisis Mazhab Jumhur vs Hanafi) .....	35
4.4. Waktu Magrib: Permodelan Terbenamnya Piringan Atas Matahari (Visibilitas dan Efek Optik Atmosfer) .....	36
DAFTAR PUSTAKA BAB 4 .....	38
<b>BAB 5: DINAMIKA SENJA ASTRONOMIS: ISYA DAN SUBUH</b> .....	39
5.1. Definisi Fisik dan Optik Syafak Merah dan Fajar Shadiq .....	39
5.2. Sudut Depresi Matahari: Tinjauan Historis dan Standar Global (Kemenag RI, MWL, ISNA, Umm al-Qura) .....	40

5.3. Pemodelan Matematis Ketinggian Absolut Negatif.....	42
5.4. Sensitivitas Perubahan Sudut Depresi terhadap Waktu Aktual di Berbagai Lintang.....	44
DAFTAR PUSTAKA BAB 5.....	46
<b>BAB 6: RESOLUSI ALGORITMIS UNTUK ANOMALI LINTANG EKSTREM (HIGH LATITUDES) .....</b>	<b>47</b>
6.1. Karakteristik Geometris Lintang di atas 48° pada Musim Panas (Gagalnya Fungsi Arccos) .....	47
6.2. Evaluasi Metode Aqrab al-Balad (Nearest Latitude).....	49
6.3. Evaluasi Metode Aqrab al-Ayyam (Nearest Day) .....	51
6.4. Evaluasi Metode Nisf al-Lail (Middle of the Night) dan Sube' al-Lail (1/7 of the Night) .....	53
DAFTAR PUSTAKA BAB 6.....	55
<b>BAB 7: ARSITEKTUR KOMPUTASI PADA KHGT TIMES V7.3.....</b>	<b>56</b>
7.1. Logika Pemrograman Berbasis Python untuk Astrometri.....	56
7.2. Implementasi Modul Prayer Times dan Kalibrasi Dinamis .....	57
7.3. Evaluasi <i>Error Margin</i> , Pengujian <i>Math Domain Error</i> (NaN), dan Sistem <i>Bypass</i> Otomatis.....	58
DAFTAR PUSTAKA BAB 7.....	60
<b>BAB 8: KESIMPULAN DAN REKOMENDASI .....</b>	<b>61</b>
8.1. Sintesis Penyatuan Kriteria Berbasis KHGT .....	61
8.2. Rekomendasi untuk Pengembangan Sistem Hisab Kontemporer .....	62
DAFTAR PUSTAKA BAB 8.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>64</b>
<b>GLOSARIUM.....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN 1: REKAPITULASI FORMULA PENENTUAN WAKTU SALAT .....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN 2: REKAPITULASI AYAT AL-QUR'AN DALAM PENENTUAN WAKTU SALAT .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN 3: REKAPITULASI HADIS SHAHIH DALAM PENENTUAN WAKTU SALAT.....</b>	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN 4: DAFTAR PERANGKAT LUNAK PENENTUAN WAKTU SALAT.....</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN 5 VISUALISASI POSISI MATAHARI DALAM SIKLUS WAKTU SALAT.....</b>	<b>81</b>

# BAB 1: PENDAHULUAN: KOMPLEKSITAS FIKIH DALAM KOMPUTASI WAKTU

## 1.1. Evolusi Sistem Penentuan Waktu Salat: Dari Observasi Visual ke Komputasi Astronomi

Sejarah penentuan waktu ibadah dalam Islam merepresentasikan salah satu titik temu paling krusial antara teologi (agama) dan sains empiris (astronomi). Pada fase formatif Islam, paradigma penentuan waktu salat sepenuhnya didasarkan pada observasi visual langsung (*ru'yat bil 'aini*) terhadap fenomena alam astronomis. Nabi Muhammad SAW mengajarkan waktu-waktu salat melalui indikator alamiah yang dapat diamati oleh masyarakat awam di Jazirah Arab, seperti pergerakan bayangan benda akibat penyinaran Matahari, gradasi warna di ufuk barat saat senja, dan pendaran cahaya di ufuk timur menjelang pagi.

Fondasi teologis dari kewajiban memelihara waktu ini termaktub secara eksplisit dalam Al-Qur'an, yang meletakkan pergerakan Matahari sebagai parameter utama *mawquta* (ketetapan waktu). Allah SWT berfirman:

أَقِمِ الصَّلَاةَ لِذُلُوكِ الشَّمْسِ إِلَى غَسَقِ اللَّيْلِ وَقُرْآنِ الْفَجْرِ إِنَّ قُرْآنَ الْفَجْرِ كَانَ مَشْهُودًا

*Artinya: "Dirikanlah shalat dari sesudah matahari tergelincir sampai gelap malam dan (dirikanlah pula shalat) subuh. Sesungguhnya shalat subuh itu disaksikan (oleh malaikat)." (QS. Al-Isra: 78).*

Tafsir klasik terhadap ayat ini, yang dikalibrasi oleh praktik profetik (Sunnah) melalui Hadis Jibril tentang waktu salat, mendefinisikan lima waktu secara kualitatif. *Duluk asy-syams* dimaknai sebagai *zawal* (tergelincirnya Matahari dari titik kulminasi atas atau meridian lokal) yang menandai masuknya waktu Zuhur. Masuknya waktu Asar ditentukan melalui rasio perbandingan panjang bayangan benda (*zill*) dengan tinggi benda aslinya. Waktu Magrib ditandai dengan tenggelamnya piringan Matahari (*ghurub*), Isya dengan hilangnya mega merah (*syafak al-ahmar*), dan Subuh dengan terbitnya fajar yang menyebar secara horizontal di ufuk timur (*fajar shadiq*).

Pada abad ke-8 hingga ke-15 Masehi, seiring dengan meluasnya wilayah peradaban Islam ke berbagai lintang geografis—dari Andalusia di Eropa hingga Persia dan Asia Tengah—terjadi pergeseran epistemologis. Observasi visual mulai dirasakan tidak mencukupi, terutama ketika berhadapan dengan kondisi cuaca (mendung/awan) dan variasi durasi siang-malam yang ekstrem di lintang yang lebih tinggi. Kebutuhan akan presisi ini melahirkan disiplin ilmu baru yang dikenal sebagai *Ilm al-Miqat* (ilmu penentuan waktu). Para astronom Muslim terkemuka seperti Al-Khwarizmi, Al-Battani, dan Ibn al-Shatir mulai menerjemahkan deskripsi kualitatif dari nash-nash fikih ke dalam model matematika trigonometri bola (*spherical trigonometry*).

Mereka mengembangkan instrumen observasi presisi seperti *astrolabe* dan *mizwalah* (jam matahari), serta menyusun *Zij* (tabel astronomi) yang memuat posisi ephemeris Matahari dan

bintang. Pada fase ini, definisi bayangan untuk Asar, misalnya, diformulasikan ke dalam fungsi tangen dan kotangen dari lintang geografis dan deklinasi Matahari. Evolusi ini menandai transisi pertama: dari observasi murni fenomenologis menuju prediksi matematis berbasis geometri bola.

Memasuki era modern, revolusi komputasi membawa penentuan waktu salat ke dimensi presisi absolut (Djameluddin, 2011). Paradigma visual telah sepenuhnya disubstitusi oleh algoritma komputasi astronomi yang kompleks. Dalam sistem astronomi kontemporer, indikator-indikator visual klasik direduksi menjadi satu parameter kunci: **Ketinggian Matahari (Altitude/h)** dan **Sudut Jam Matahari (Hour Angle/H)**.

Fenomena fajar shadiq dan hilangnya syafak merah tidak lagi diobservasi dengan mata telanjang di ufuk, melainkan diproyeksikan sebagai Sudut Depresi Matahari (Solar Depression Angle) di bawah horizon. Misalnya, parameter -18 derajat atau -20 derajat digunakan secara algoritmik untuk mendefinisikan batas optis hamburan cahaya Rayleigh di atmosfer bumi yang merepresentasikan fajar atau hilangnya syafak (Ilyas, 1988). Formulasi saintifik kontemporer untuk menghitung Sudut Jam berdasar Ketinggian Matahari tidak lagi menggunakan tabel hampiran, melainkan kalkulasi inversi kosinus murni yang sangat presisi. Sebagai dokumen standar ilmiah, persamaan fundamental tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$H = \arccos \left( \frac{\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})}{\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})} \right)$$

Di mana nilai H (Sudut Jam) kemudian dikonversi menjadi waktu nyata berdasarkan bujur geografis dan persamaan waktu (*Equation of Time*).

Dalam konteks inilah perangkat lunak modern seperti aplikasi **KHGT Times V7.3** mengambil peran sentral. Modul *Prayer Times* pada sistem tersebut merupakan puncak dari sintesis historis ini. Ia tidak hanya menerapkan kalkulasi mekanika benda langit standar yang dirumuskan oleh ahli astronomi kontemporer (seperti Jean Meeus, 1998), tetapi juga melakukan kalibrasi cerdas. Sistem komputasi seperti KHGT Times V7.3 menghitung efek refraksi atmosfer, kerendahan ufuk (dip angle), dan semi-diameter Matahari secara *real-time*. Lebih jauh, komputasi modern dituntut untuk menyelesaikan masalah yang tidak pernah dibahas tuntas dalam kitab-kitab *turats* (klasik), yakni kegagalan model matematika (*Math Domain Error* atau *Not a Number / NaN*) ketika diaplikasikan pada lintang ekstrem, di mana Matahari tidak pernah mencapai sudut depresi yang disyaratkan secara fikih.

Transisi dari *ru'yah* ke *hisab* komputatif ini bukan berarti meninggalkan teks syariat, melainkan justru memperkuat prinsip *maqashid syariah* dalam hal *hifzh ad-din* (menjaga agama) melalui kepastian pelaksanaan ibadah. Kepastian algoritmis memastikan bahwa di belahan bumi manapun seorang Muslim berada—mulai dari wilayah khatulistiwa hingga area sub-arktik—ketentuan *mawquta* yang diamanatkan oleh Al-Qur'an tetap dapat dieksekusi dengan validitas saintifik yang tidak terbantahkan.

## 1.2. Research Gap: Kesenjangan antara Teks Klasik dan Permodelan Matematika Modern

Dalam diskursus fikih astronomi kontemporer, tantangan terbesar yang dihadapi oleh para akademisi dan pengembang sistem komputasi adalah proses penerjemahan (translasi) bahasa kualitatif-fenomenologis dari teks-teks klasik (*turats*) ke dalam bahasa kuantitatif-eksak berupa algoritma matematika modern. Kesenjangan riset (*research gap*) ini muncul secara fundamental karena perbedaan epistemologis antara metode observasi visual pada masa tasyri' (penetapan hukum) dengan pemodelan geometri bola (*spherical geometry*) yang digunakan dalam sains data dan astrometri saat ini.

Para *fuqaha* (ahli fikih) klasik merumuskan batas-batas waktu salat berdasarkan parameter empiris yang kasat mata. Sebagai contoh, dalam mendefinisikan waktu Asar, rujukan utamanya adalah hadis Nabi Muhammad SAW yang diriwayatkan oleh Abdullah bin 'Amr radhiyallahu 'anhu:

وَوَقْتُ الْعَصْرِ مَا لَمْ تَصْفَرَ الشَّمْسُ

*Artinya: "Dan waktu Asar itu selama matahari belum menguning." (HR. Muslim).*

Dalam elaborasi fikih, hadis ini serta hadis-hadis riwayat Jibril tentang waktu salat ditafsirkan menjadi sebuah ukuran fisik bayangan. Jumhur ulama (mayoritas) menetapkan bahwa Asar masuk ketika panjang bayangan suatu benda sama dengan tinggi benda tersebut, ditambah dengan panjang bayangan saat matahari tepat melintasi meridian (waktu zawal). Sebaliknya, mazhab Hanafi menetapkan batas masuknya Asar ketika panjang bayangan mencapai dua kali lipat dari tinggi benda aslinya ditambah bayangan waktu zawal (Kamali, 2003).

Secara literatur, deskripsi ini sangat jelas dan mudah dipraktikkan secara manual. Namun, ketika parameter kualitatif ini dimasukkan ke dalam arsitektur komputasi modern seperti KHGT Times V7.3, ia menuntut resolusi matematis yang presisi absolut. Sistem komputer tidak dapat melihat bayangan; ia hanya memproses data koordinat spasial dan temporal. Oleh karena itu, kesenjangan pertama terjadi pada konversi rasio bayangan menjadi Ketinggian Matahari (Altitude atau  $h$ ).

Dalam permodelan matematika modern, tinggi matahari untuk waktu Asar tidak dapat sekadar diasumsikan secara statis. Ia harus diturunkan melalui fungsi inversi trigonometri yang melibatkan posisi lintang geografis pengamat (Lintang) dan deklinasi matahari (Deklinasi) pada hari tersebut. Persamaan saintifik yang menjembatani kesenjangan ini diformulasikan sebagai fungsi arc-cotangent dari nilai absolut selisih lintang dan deklinasi:

$$h_{\text{asar}} = \text{arccot}(\tan(|\text{Lintang} - \text{Deklinasi}|) + M)$$

Di mana  $M$  adalah konstanta mazhab ( $M = 1$  untuk Jumhur,  $M = 2$  untuk Hanafi). Persamaan ini secara elegan menyelesaikan problem pertama, namun kesenjangan yang lebih kompleks muncul pada parameter waktu Isya dan Subuh.

Teks klasik mendefinisikan Isya dengan hilangnya *syafak al-ahmar* (mega merah di ufuk barat) dan Subuh dengan munculnya *fajar shadiq* (cahaya putih yang membentang horizontal di ufuk

timur). Di wilayah Jazirah Arab yang berada pada lintang rendah hingga menengah, fenomena optik atmosferik ini terjadi secara konsisten dan ekuivalen dengan Ketinggian Matahari sekitar -18 derajat (Sudut Depresi 18 derajat di bawah ufuk) hingga -20 derajat (Ilyas, 1988). Akan tetapi, kesenjangan sistemik (*systemic gap*) terjadi ketika permodelan matematika ini diaplikasikan pada wilayah lintang tinggi (*high latitudes*), seperti di atas 48 derajat Lintang Utara atau Selatan pada puncak musim panas.

Di wilayah lintang ekstrem tersebut, deklinasi matahari sedemikian rupa sehingga matahari secara geometris tidak pernah turun mencapai sudut depresi -18 derajat. Ia mungkin hanya turun hingga -12 derajat atau -15 derajat sebelum akhirnya kembali naik menuju ufuk timur (terbit). Secara komputasi, saat program mengeksekusi persamaan Sudut Jam untuk mencari waktu dengan target  $h = -18$  derajat, sistem akan mengalami *Math Domain Error* atau menghasilkan nilai *Not a Number* (NaN). Hal ini terjadi karena nilai di dalam fungsi arccos melebihi batas rasional antara -1 hingga 1.

Di sinilah letak anomali yang gagal diantisipasi oleh banyak sistem hisab konvensional. Literatur fikih klasik tidak secara spesifik merumuskan algoritma substitusi untuk kondisi di mana *syafak* tidak pernah hilang atau *fajar shadiq* bertumpuk dengan senja astronomis (Aripin, 2020). Akibatnya, ada kekosongan metodologis dalam mengintegrasikan *maqashid syariah* dengan anomali astronomis.

Kehadiran sistem komputasi terpadu yang menyelaraskan kalender dan waktu ibadah, seperti yang diusung dalam konsep Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), menuntut adanya *framework* penyelesaian atau resolusi algoritmik terhadap *gap* ini. Sistem tidak boleh berhenti beroperasi (crash) atau memberikan jadwal kosong (blank) bagi umat Islam di wilayah tersebut. Integrasi kecerdasan algoritmik yang mampu mendeteksi kegagalan fungsi limit trigonometri, lalu secara *real-time* melakukan *bypass* menuju metode proksimasi (seperti *Aqrab al-Balad* atau *Nisf al-Lail*), merupakan sebuah kebaruan (novelty) mutlak yang mengawinkan keluwesan fikih dengan kekakuan matematika empiris.

### 1.3. Integrasi Astrometri dan Fikih Ibadah dalam Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT)

Kesenjangan metodologis antara observasi visual klasik dan tuntutan presisi komputasi modern meniscayakan sebuah paradigma baru yang bersifat integratif. Dalam tataran inilah konsep astrometri—cabang astronomi yang berfokus pada pengukuran posisi dan pergerakan benda-benda langit secara sangat presisi—dipertemukan dengan fikih ibadah. Peleburan kedua disiplin ini mencapai kristalisasinya pada gagasan Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT). Meski istilah KHGT secara historis lebih sering diasosiasikan dengan penyatuan penanggalan lunar (kamariah) awal bulan, secara epistemologis, kerangka global ini juga merangkum penyatuan parameter waktu salat (solar/syamsiah) ke dalam satu grid waktu universal yang selaras.

Fondasi teologis yang mendasari integrasi ketat antara pergerakan kosmik dan ketetapan syariat ini terangkum dalam firman Allah SWT:

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ

*Artinya: "Matahari dan bulan (beredar) menurut perhitungan." (QS. Ar-Rahman: 5).*

Kata *husbaan* dalam ayat tersebut mengindikasikan bahwa pergerakan benda-benda langit memiliki tatanan matematis yang eksak dan dapat diprediksi. Dalam konteks astrometri kontemporer, *husbaan* diterjemahkan melalui penggunaan model efemeris berakurasi tinggi—seperti *Development Ephemeris* (DE) yang dipublikasikan oleh *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) NASA. Data efemeris ini merekam koordinat langit ekwatorial (Asensio Rekta dan Deklinasi) dari Matahari, Bulan, dan planet-planet dengan memperhitungkan perturbasi gravitasi yang kompleks.

Secara tradisional, fikih ibadah terpecah ke dalam lokalisme geografis (*local horizon-based*). Jadwal salat dihitung secara independen untuk setiap titik koordinat tanpa melihat keterikatannya dengan tata waktu global. Namun, melalui kerangka KHGT, penentuan waktu ibadah diletakkan pada perspektif Bumi sebagai sebuah entitas bola (geoid) tunggal yang berotasi. Sistem komputasi seperti KHGT Times V7.3 tidak lagi sekadar menghitung waktu terbit atau terbenam secara linear, melainkan memproyeksikan vektor geosentris (pusat Bumi) menjadi koordinat toposentris (permukaan Bumi tempat pengamat berada) secara simultan (*real-time*).

Integrasi astrometri dan fikih ibadah di dalam KHGT memiliki tiga dimensi fungsional utama:

**Pertama, Reduksi Subjektivitas Optis.** Observasi visual sangat rentan terhadap ilusi optik dan keterbatasan mata telanjang (*human visual threshold*). Contohnya, penentuan fajar shadiq dipengaruhi oleh tingkat polusi cahaya (*sky glow*), ketebalan aerosol, dan kelembapan udara. Dengan astrometri, fikih tidak lagi bergantung pada "kapan mata manusia melihat fajar", melainkan pada sebuah parameter objektif: kapan pusat piringan Matahari secara matematis menyentuh sudut depresi spesifik (misalnya -18 derajat) di bawah ufuk teoritis, setelah dikalibrasi dengan nilai refraksi atmosfer dan *dip angle* (kerendahan ufuk).

**Kedua, Sinkronisasi Administratif Global.** Sistem KHGT mengeliminasi disparitas jadwal yang kerap terjadi akibat penggunaan algoritma usang atau parameter yang berbeda di wilayah yang berdekatan. Dengan menggunakan algoritma astrometri yang seragam, perbedaan jadwal antar dua kota yang saling berbatasan tidak akan mengalami lonjakan yang tidak rasional (diskontinuitas). Formulasi komputasi memastikan transisi waktu berjalan secara *smooth* secara longitudinal maupun latitudinal. Persamaan kalkulasi zona waktu lokal didasarkan pada koreksi bujur geografis terhadap *Greenwich Mean Time* (GMT/UTC) menggunakan standar ilmiah:

Waktu Lokal = Waktu Universal (UTC) + (Bujur / 15) + Persamaan Waktu (Equation of Time)

Dalam hal ini, *Equation of Time* dikalkulasi secara presisi untuk mengakomodasi eksentrisitas orbit Bumi dan kemiringan ekliptika, yang menyebabkan panjang hari matahari sejati (Apparent Solar Day) bervariasi sepanjang tahun.

**Ketiga, Fasilitasi Algoritmik bagi Kondisi Pengecualian (Rukhshah).** Kekuatan utama dari integrasi ini adalah kemampuannya menyediakan landasan ilmiah bagi implementasi *rukhsah* (keringanan) syariat. Ketika astrometri membuktikan secara eksak bahwa pada koordinat Lintang 60 derajat Utara di bulan Juni, Matahari tidak pernah terbenam atau senja bertumpuk dengan fajar, data empiris ini menjadi *hujjah* (argumentasi) yang valid bagi otoritas fikih untuk menerapkan

metode substitusi atau takdir (perkiraan). Sistem komputasi menjustifikasi bahwa hukum alam—yang juga merupakan ketetapan Allah—pada wilayah tersebut sedang berada dalam kondisi anomali yang mensyaratkan intervensi algoritmis khusus, selaras dengan kaidah *Al-Masyaqqah Tajlib at-Taysir* (Kesulitan itu menarik adanya kemudahan).

Integrasi dalam modul *Prayer Times* bukan berarti sains mengalahkan teks fikih, melainkan sains—melalui astrometri dan ilmu komputasi—menjadi instrumen (khadim) yang menyempurnakan implementasi teks fikih tersebut di era modern. KHGT memberikan wadah ideologis dan saintifik di mana perhitungan yang rumit tersebut dapat diterima sebagai pedoman kolektif yang mengikat.

#### 1.4. Ruang Lingkup dan Signifikansi Parameter Dinamis

Dalam kerangka komputasi modern, jadwal salat tidak lagi dipandang sebagai sekumpulan tabel statis yang berlaku universal secara konstan. Realitas astronomis menunjukkan bahwa Bumi mengorbit Matahari dalam lintasan elips dan berotasi pada sumbu yang miring (oblikuitas ekliptika sekitar 23,4 derajat). Hal ini menyebabkan pergerakan semu Matahari harian bersifat fluktuatif sepanjang tahun. Oleh karena itu, arsitektur perangkat lunak seperti KHGT Times V7.3 didesain dengan ruang lingkup yang mencakup **parameter dinamis**—variabel-variabel komputasi yang dapat dikalibrasi secara adaptif untuk menghasilkan presisi yang identik dengan realitas observasi faktual di lapangan.

Signifikansi perhitungan dinamis ini sejalan dengan prinsip teologis bahwa tatanan waktu penciptaan alam semesta bersifat terukur dan terus bergerak, sebagaimana firman Allah SWT:

قَالِقُ الْإِصْبَاحِ وَجَعَلَ اللَّيْلَ سَكَنًا وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ حُسْبَانًا ۚ ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ

*Artinya: "Dia menyingsingkan pagi dan menjadikan malam untuk beristirahat, dan (menjadikan) matahari dan bulan untuk perhitungan. Itulah ketentuan Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Mengetahui." (QS. Al-An'am: 96).*

Kata *husbaanan* (perhitungan matematis) dalam ayat ini memvalidasi penggunaan variabel-variabel korektif yang terus disesuaikan. Terdapat tiga parameter dinamis krusial yang diakomodasi oleh sistem komputasi tingkat lanjut:

**1. Ketinggian Tempat Pengamat (Elevation/Altitude) dan Kerendahan Ufuk (Dip of the Horizon)** Ketinggian lokasi pengamat di atas permukaan laut (mdpl) secara langsung mendistorsi batas horizon visual. Semakin tinggi posisi pengamat, ufuk akan tampak semakin turun secara geometris, yang mengakibatkan Matahari terbit lebih awal dan terbenam lebih lambat. Fenomena ini diformulasikan dalam koreksi Kerendahan Ufuk atau *Dip*. Secara standar matematis, nilai *Dip* (dalam satuan menit busur) dihitung berdasarkan fungsi akar kuadrat dari elevasi:

$$\text{Dip} = 1.76 * \text{akar}(h\_elevasi)$$

Dalam aplikasi KHGT Times V7.3, variabel *h\_elevasi* bersifat dinamis. Artinya, jadwal salat Magrib dan Syuruq (terbit Matahari) di dataran rendah pesisir akan secara otomatis berbeda

dengan gedung pencakar langit atau area pegunungan pada bujur dan lintang yang sama, memberikan resolusi fikih yang presisi untuk setiap kondisi topografi.

**2. Koreksi Refraksi Atmosferik (Atmospheric Refraction) Berbasis Suhu dan Tekanan Udara** Ketika piringan Matahari mendekati ufuk (saat terbit maupun terbenam), cahaya Matahari dibelokkan (dibiaskan) oleh lapisan atmosfer Bumi. Secara rata-rata, refraksi pada horizon bernilai sekitar 34 menit busur (0,566 derajat). Namun, nilai ini tidaklah absolut. Kerapatan udara—yang dipengaruhi oleh Suhu (T dalam Celcius) dan Tekanan Udara (P dalam milibar/hPa)—secara signifikan mengubah indeks bias. Algoritma modern mengkalibrasi refraksi standar tersebut menjadi refraksi dinamis (R\_dinamis) dengan persamaan korektif:

$$R_{\text{dinamis}} = R_{\text{standar}} * (P / 1010) * (283 / (273 + T))$$

Implikasinya sangat krusial bagi waktu Magrib: jadwal berbuka puasa di daerah kutub yang bersuhu ekstrem atau gurun dengan tekanan udara spesifik akan mendapatkan perhitungan terbenamnya Matahari yang sangat akurat secara optis, bukan sekadar asumsi geometris semata.

**3. Fleksibilitas Sudut Depresi Fajar dan Syafak** Kriteria *fajar shadiq* (Subuh) dan hilangnya *syafak ahmar* (Isya) masih menjadi ranah ijtihad astronomis dengan keragaman parameter di seluruh dunia. Kementerian Agama RI, misalnya, menggunakan sudut depresi Matahari -20 derajat untuk Subuh dan -18 derajat untuk Isya. Sementara itu, *Muslim World League* (MWL) menetapkan -18 derajat untuk Subuh dan -17 derajat untuk Isya.

Parameter dinamis dalam sistem komputasi KHGT memungkinkan otoritas lokal atau pengguna administratif untuk secara bebas memodifikasi sudut depresi ini pada panel *settings*. Fleksibilitas ini bukanlah bentuk inkonsistensi, melainkan cerminan kekayaan khazanah fikih yang menghormati observasi (*rukyah*) lokal dari otoritas masing-masing wilayah, sembari tetap diikat oleh satu arsitektur perangkat lunak yang seragam dan terkalibrasi.

Sintesis dari parameter-parameter dinamis inilah yang membedakan komputasi *Prayer Times* berstandar internasional dari sistem sekunder. Ia merombak paradigma kaku menjadi sebuah instrumen saintifik hidup yang merepresentasikan keluasan *Sunnatullah* pada alam semesta.

## DAFTAR PUSTAKA BAB 1

Al-Ammari, A., & Ahmad, N. (2012). Mathematical formulation of Islamic prayer times. *Journal of Applied Sciences*, 12(15), 1604-1608.

Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.

Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.

Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.

Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.

Kamali, M. H. (2003). *Principles of Islamic Jurisprudence*. Cambridge: Islamic Texts Society.

Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.

## BAB 2: LANDASAN SYAR'I: PRESISI WAKTU SEBAGAI SYARAT MUTLAK

### 2.1. Ontologi Waktu (Mawquta) dalam Perspektif Al-Qur'an

Diskursus mengenai penentuan jadwal salat tidak dapat dilepaskan dari fondasi filosofis dan teologis mengenai hakikat waktu itu sendiri di dalam Islam. Dalam kerangka ontologis Al-Qur'an, waktu bukanlah entitas yang hampa atau sekadar durasi mekanis linear yang terlepas dari eksistensi manusia. Sebaliknya, waktu diikat secara esensial dengan pergerakan benda-benda langit (kosmologi) dan kewajiban vertikal manusia kepada Penciptanya (syariat). Konsep ini mencapai kulminasinya pada term *mawquta*, yang menegaskan bahwa presisi dimensi temporal adalah syarat mutlak bagi keabsahan ibadah.

Landasan fundamental yang memproyeksikan kewajiban salat ke dalam bingkai waktu yang spesifik dan terstruktur termaktub secara definitif dalam firman Allah SWT:

إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَّوْقُوتًا

*Artinya: "Sesungguhnya shalat itu adalah fardhu yang ditentukan waktunya atas orang-orang yang beriman." (QS. An-Nisa: 103).*

Kata *mawquta* secara etimologis berasal dari akar kata *waqt* (waktu) yang mendapatkan bentuk *isim maf'ul* (objek pasif/yang dikenai pekerjaan), bermakna "sesuatu yang telah ditetapkan batas waktunya secara eksak dan periodik". Tafsir klasik, seperti yang diuraikan oleh Imam Ar-Razi maupun Ibnu Katsir, memformulasikan ayat ini sebagai dalil *qathi* (pasti) bahwa salat tidak sah dilakukan sebelum masuk awal waktunya, dan berdosa jika ditunda hingga melewati batas akhirnya tanpa *udzur syar'i*. Namun, dari perspektif epistemologi sains modern, ayat ini menyimpan imperatif metodologis yang jauh lebih mendalam: ia adalah mandat ilahiah untuk menguasai ilmu pengukuran waktu (kronometri) dan astrometri.

Jika salat dituntut untuk dieksekusi pada waktu yang telah ditetapkan (*mawquta*), maka umat Islam memikul kewajiban kolektif (*fardhu kifayah*) untuk memastikan bagaimana batas-batas waktu tersebut dapat diketahui dengan tingkat akurasi tertinggi (presisi). Al-Qur'an mengarahkan pandangan manusia ke angkasa sebagai jam raksasa (kosmik) yang mendiktekan waktu-waktu tersebut. Hal ini ditegaskan dalam firman-Nya:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ ۗ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ ۗ يُفَصِّلُ  
الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ

*Artinya: "Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu 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." (QS. Yunus: 5).*

Ayat ini secara eksplisit mengawinkan antara fenomena astronomis—radiasi matahari (*diyaa'*) dan pantulan cahaya bulan (*nuur*) beserta trayektori orbitnya (*manazil*)—dengan tujuan praktis bagi peradaban manusia: agar manusia menguasai komputasi dan matematika (*al-hisab*). Terminologi *al-hisab* di sini mendestruksi anggapan bahwa penentuan waktu ibadah harus selamanya bergantung pada observasi visual yang rentan terhadap distorsi atmosferik atau keterbatasan optik manusia. Al-Qur'an justru melegitimasi kalkulasi matematis atas pergerakan mekanika benda langit sebagai instrumen pencarian kebenaran (*bil-haqq*).

Ontologi waktu dalam Al-Qur'an memandang bahwa pergerakan rotasi dan revolusi Bumi terhadap Matahari bukanlah kebetulan fisis, melainkan sebuah desain ketat (*taqdir*) yang berfungsi sebagai kalibrator ketaatan. Bergesernya Matahari dari meridian lokal (*zawal*) bukan semata-mata fenomena transit astronomis, melainkan sebuah alarm teologis yang menandai dimulainya hak Allah atas waktu seorang hamba (waktu Zuhur). Tenggelamnya piringan atas Matahari di bawah ufuk teoritis, yang telah terkoreksi oleh refraksi dan dip, bukan sekadar fenomena optik, melainkan transisi pergantian hari dan batasan sahnya puasa serta masuknya waktu Magrib.

Lebih jauh, penerjemahan ontologi waktu ini ke dalam arsitektur komputasi modern seperti Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) menemukan relevansi syar'inya yang kuat. KHGT, yang disokong oleh formulasi astronomi tingkat tinggi (seperti yang diimplementasikan pada modul Prayer Times KHGT Times V7.3), merupakan ejawantah dari perintah *taqdir* dan *hisab* tersebut. Sistem ini mengubah variabel-variabel syariat yang kualitatif menjadi data kuantitatif yang presisi, memastikan bahwa konsep *mawquta* tidak mengalami degradasi makna akibat lokalisme yang sempit atau inakurasi pengamatan manual.

Dengan demikian, pendekatan komputasi astronomi dalam menentukan jadwal salat bukanlah sebuah bid'ah sains, melainkan manifestasi paling paripurna dari ketaatan terhadap ontologi *mawquta*. Ketika algoritma menghitung Ketinggian Matahari, Sudut Jam, dan mengoreksi anomali lintang ekstrem, ia pada hakikatnya sedang menjalankan perintah Allah untuk memelihara batas-batas syariat dengan sebaik-baik perhitungan yang mampu dicapai oleh peradaban manusia.

## 2.2. Analisis Hadis tentang Fenomena Alam Visual (Fajar Shadiq, Bayangan, dan Syafak)

Jika Al-Qur'an meletakkan kerangka ontologis waktu (*mawquta*), maka Sunnah Rasulullah SAW bertindak sebagai manual operasional yang merinci indikator-indikator visual dari waktu tersebut. Hadis-hadis Nabi mengkalibrasi jadwal salat menggunakan fenomena alamiah yang dapat diamati secara langsung (*ru'yat bil 'aini*) oleh masyarakat pada masa itu. Kajian kritis terhadap hadis-hadis ini menjadi prasyarat mutlak sebelum fenomena tersebut diterjemahkan ke dalam algoritma komputasi modern dalam sistem Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT).

Hadis yang paling komprehensif merangkum parameter visual waktu salat adalah riwayat dari Abdullah bin 'Amr radhiyallahu 'anhu, di mana Rasulullah SAW bersabda:

وَقْتُ الظُّهْرِ إِذَا زَالَتِ الشَّمْسُ وَكَانَ ظِلُّ الرَّجُلِ كَطُولِهِ، مَا لَمْ يَحْضُرِ الْعَصْرُ، وَوَقْتُ الْعَصْرِ مَا لَمْ تَصْفَرَّ الشَّمْسُ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الْمَغْرِبِ مَا لَمْ يَغِبِ الشَّفَقُ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الْعِشَاءِ إِلَى نِصْفِ اللَّيْلِ الْأَوْسَطِ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الصُّبْحِ مِنْ طُلُوعِ الْفَجْرِ مَا لَمْ تَطْلُعِ الشَّمْسُ

*Artinya: "Waktu Zuhur adalah ketika matahari tergelincir dan bayangan seseorang sama dengan tingginya, selama belum masuk waktu Asar. Waktu Asar adalah selama matahari belum menguning. Waktu salat Magrib adalah selama syafak (mega merah) belum hilang. Waktu salat Isya adalah hingga pertengahan malam. Dan waktu salat Subuh adalah dari terbitnya fajar selama matahari belum terbit."* (HR. Muslim).

Untuk membedah hadis tersebut dari kacamata astrometri dan fikih, kita harus melakukan dekonstruksi terhadap tiga fenomena visual utama: Fajar Shadiq, Ekstensi Bayangan, dan Syafak.

**A. Analisis Fajar Shadiq (Waktu Subuh)** Dalam literatur hadis yang lain, Nabi membedakan secara tegas antara dua jenis fajar: *Fajar Kadzib* (fajar palsu) dan *Fajar Shadiq* (fajar sesungguhnya). Fajar Kadzib dideskripsikan memanjang vertikal seperti ekor serigala, sedangkan Fajar Shadiq membentang horizontal menyusuri ufuk.

Dari tinjauan astrofisika, Fajar Kadzib diidentifikasi sebagai *Zodiacal Light* (Cahaya Zodiak), yakni pantulan sinar matahari oleh debu-debu kosmik di bidang ekliptika tata surya yang sering terlihat menjelang pagi di kawasan minim polusi cahaya. Fajar Kadzib tidak memiliki kaitan dengan hamburan atmosfer bumi. Sebaliknya, Fajar Shadiq ekuivalen dengan fajar astronomis (*Astronomical Dawn*), yakni momen ketika hamburan Rayleigh di atmosfer atas Bumi mulai membiaskan foton matahari secara merata ke segala arah, menciptakan semburat cahaya di ufuk timur.

Secara komputasional, fenomena membentangnya Fajar Shadiq ini terjadi ketika pusat piringan Matahari berada pada Sudut Depresi tertentu di bawah ufuk. Mayoritas ahli falak kontemporer dan otoritas seperti Kementerian Agama RI atau *Muslim World League* menerjemahkan "kemunculan Fajar Shadiq" ke dalam Ketinggian Matahari bernilai -20 derajat hingga -18 derajat. Komputasi KHGT mengadopsi rentang parameter ini untuk menjamin transisi yang presisi dari malam (Isya) menuju fajar, mengeliminasi bias penglihatan manusia yang sering kali tertipu oleh polusi cahaya atau *zodiacal light*.

**B. Analisis Bayangan Zawal dan Asar (Waktu Zuhur dan Asar)** Kata *zalat* dalam hadis merujuk pada fenomena *zawal*, yakni momen sesaat setelah Matahari melewati titik kulminasi atasnya (meridian lokal). Pada titik kulminasi ini, bayangan suatu benda mencapai panjang minimumnya (*zill awwal*). Waktu Zuhur secara syar'i masuk setelah fase ini terlewati. Dalam algoritma komputasi, transit ini dihitung secara eksak, namun karena Matahari tidak bergeser secara visual seketika itu juga, para ahli falak menambahkan *Ihtiyat* (margin kehati-hatian) sekitar 1-2 menit untuk memastikan masuknya Zuhur.

Adapun waktu Asar didefinisikan dengan terbentuknya bayangan benda yang panjangnya identik dengan tinggi benda tersebut, ditambah panjang *zill awwal*. Secara matematis dan trigonometri, hal ini adalah rumusan geometri bayangan murni yang dipengaruhi oleh Lintang lokasi dan Deklinasi Matahari. Karena itu, permodelan yang digunakan dalam perangkat lunak kontemporer adalah inversi trigonometri ( $\text{arccotangent}$ ) dari tinggi Matahari.

Perbedaan interpretasi fikih (seperti mazhab Hanafi yang mensyaratkan bayangan menjadi dua kali lipat) bukan merupakan kesalahan astronomis, melainkan divergensi parameter *multiplier*

bayangan. Sistem KHGT yang inklusif mengakomodasi hal ini dengan menyediakan variabel M (M=1 untuk Jumah, M=2 untuk Hanafi), membuktikan bahwa algoritma dapat memeluk pluralitas fikih secara elegan tanpa mengurangi akurasi empiris.

**C. Analisis Hilangnya Syafak (Waktu Magrib dan Isya)** Hadis mendeskripsikan masuknya Isya dengan *ghiyab asy-syafak* (hilangnya mega). *Syafak* diklasifikasikan oleh ulama menjadi *syafak al-ahmar* (mega merah) dan *syafak al-abyadh* (mega putih). Jumah ulama berpegang pada hilangnya mega merah sebagai tanda mutlak masuknya Isya.

Dalam ilmu optik atmosfer, warna merah saat senja diakibatkan oleh terhamburnya spektrum cahaya bergelombang pendek (biru/ungu) sehingga menyisakan gelombang panjang (merah/jingga) untuk menembus lapisan atmosfer bawah yang padat. Hilangnya mega merah menandai berakhirnya Senja Astronomis (*Astronomical Twilight*). Fenomena visual ini diterjemahkan ke dalam parameter Ketinggian Matahari -17 derajat hingga -18 derajat.

Integrasi pemahaman atas hadis-hadis ini ke dalam sistem Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) menunjukkan sebuah lompatan metodologis. Fikih tidak lagi dibiarkan mengawang dalam ranah interpretasi teks semata, melainkan di-bumi-kan (atau lebih tepatnya, di-langit-kan) melalui komputasi yang sangat presisi. Dengan merumuskan formulasi Ketinggian Matahari dan Sudut Jam yang terukur, KHGT mengeleminasi kemungkinan cacat observasi (seperti ufuk yang terhalang gunung, cuaca, atau polusi optik) sekaligus menjaga kesucian makna nash Al-Qur'an dan Hadis.

### 2.3. Pendekatan Bayani, Burhani, dan Irfani dalam Penentuan Jadwal Ibadah

Epistemologi pemikiran Islam, sebagaimana dikonseptualisasikan oleh filsuf seperti Muhammad Abed Al-Jabiri, secara umum bertumpu pada tiga pilar utama: *Bayani* (teks atau otoritas bahasa), *Burhani* (logika, rasio, dan demonstrasi empiris), dan *Irfani* (intuisi, pengalaman spiritual, dan penyucian jiwa) (Al-Jabiri, 1990). Dalam diskursus fikih astronomi konvensional, penentuan waktu ibadah sering kali terjebak dalam dominasi pendekatan *Bayani* yang kaku, mengabaikan fakta bahwa alam semesta ini beroperasi berdasarkan hukum-hukum fisika yang membutuhkan deduksi *Burhani*. Sistem komputasi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) hadir sebagai kerangka holistik yang menyintesis ketiga pendekatan ini ke dalam satu arsitektur epistemologis yang kokoh.

**A. Pendekatan Bayani: Teks Sebagai Fondasi Ontologis** Pendekatan *Bayani* menjadikan *nash* (Al-Qur'an dan Sunnah) sebagai sumber kebenaran absolut. Dalam konteks penentuan waktu salat, pendekatan ini bekerja dengan menggali indikator-indikator kualitatif dari wahyu, seperti tergelincirnya matahari (*zawal*), rasio bayangan benda, dan kemunculan fajar shadiq. Teks-teks ini bersifat *qath'i al-wurud* (pasti sumbernya), namun aplikasinya di lapangan sering kali *zhanni al-dalalah* (multi-interpretasi) karena dipengaruhi oleh posisi geografis pengamat.

Pendekatan *Bayani* memberikan otorisasi syar'i (*legitimacy*) bahwa waktu ibadah tidak boleh ditetapkan secara arbitrer (sembarangan). Namun, sejarah menunjukkan bahwa ketika umat Islam berekspansi ke wilayah lintang ekstrem (di atas 48 derajat LU/LS), pendekatan teks secara harfiah mengalami jalan buntu (Aripin, 2020). Teks mengatakan "tunggu sampai mega merah hilang untuk

salat Isya", tetapi di musim panas sub-Arktik, mega merah tersebut tidak pernah hilang hingga menyatu dengan fajar. Di sinilah *Bayani* menuntut kehadiran disiplin ilmu lain untuk memberikan interpretasi fungsional atas teks tersebut.

**B. Pendekatan Burhani: Sains Komputasi Sebagai Instrumen Verifikasi** Pendekatan *Burhani* bersandar pada observasi empiris, matematika, dan silogisme logis. Dalam penentuan waktu ibadah, *Burhani* bermanifestasi dalam bentuk ilmu astrometri dan komputasi algoritmis, seperti yang diimplementasikan pada modul *Prayer Times* di aplikasi KHGT Times V7.3.

Bagi pendekatan ini, alam semesta adalah "teks visual" yang ditulis dengan alfabet matematika. Fenomena fajar atau terbenamnya matahari dikuantifikasi menjadi variabel Sudut Depresi dan Ketinggian Matahari yang terukur eksak. Ketika pendekatan *Bayani* terhalang oleh anomali astronomis di lintang ekstrem, *Burhani* menawarkan resolusi saintifik. Algoritma mengevaluasi batas limit fungsi inversi kosinus (arccos), mendeteksi probabilitas *Math Domain Error*, dan secara presisi menerapkan metode substitusi seperti *Aqrab al-Balad* (lintang terdekat) atau *Nisfal-Lail* (pertengahan malam) (Ismail & Ruba'ai, 2019).

Integrasi *Burhani* ke dalam KHGT bukan bertujuan untuk merevisi teks agama, melainkan untuk membuktikan validitas teks tersebut di segala ruang dan waktu. Formulasi trigonometri bola yang memperhitungkan refraksi atmosfer dan kerendahan ufuk (dip angle) adalah wujud nyata dari akal ('*aql*) yang menundukkan fenomena alam (*musakhkhar*) demi tegaknya syariat.

Hal ini merepresentasikan implementasi nyata dari perintah Allah SWT bagi kaum intelektual (*Ulul Albab*) untuk merenungkan mekanisme langit dan bumi:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ

*Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal." (QS. Ali 'Imran: 190).*

**C. Pendekatan Irfani: Kedalaman Spiritual dan Thuma'ninah** Pendekatan *Irfani* menyentuh dimensi psikologis dan spiritual dari ibadah. Salat tidak akan mencapai derajat *khusyu'* jika di dalam hati pelakunya masih tersimpan keraguan (*syak*) mengenai apakah waktunya sudah masuk atau belum. Kaidah fikih menyatakan, "*Al-yaqinu la yuzalu bisy-syakk*" (Keyakinan tidak bisa dihilangkan oleh keraguan).

Pada masa lalu, observasi visual sering kali melahirkan keraguan, terutama saat cuaca mendung atau pengamat berada di wilayah dengan polusi cahaya tinggi. Dengan presisi algoritmis yang ditawarkan oleh pendekatan *Burhani* melalui komputasi KHGT, seorang Muslim mendapatkan kepastian (*yaqin*). Kepastian matematis ini bertransmutasi menjadi ketenangan batin (*thuma'ninah*). Ia tidak lagi disibukkan dengan kekhawatiran administratif jadwal, melainkan dapat memfokuskan energi spiritualnya (*Irfani*) untuk bermunajat kepada Allah (Kamali, 2003).

**Sintesis Tripartit dalam KHGT** Arsitektur komputasi jadwal salat yang ideal adalah sintesis dari ketiga pilar ini. Modul komputasi *Prayer Times* tidak dipandang sekadar sebagai deretan kode program (Python) atau persamaan aljabar; ia adalah manifestasi dari kepatuhan teks (*Bayani*), yang

diuji secara empiris melalui perhitungan astrometri tingkat tinggi (*Burhani*), demi mengantarkan umat menuju puncak kekhusyukan dan validitas ibadah (*Irfani*).

Penggabungan ini menghasilkan sebuah standar kalender dan waktu global (KHGT) yang tidak hanya tangguh menghadapi tantangan modernitas, geografi, dan iklim ekstrem, tetapi juga memiliki akar teologis yang tidak dapat digoyahkan. Pendekatan interdisipliner inilah yang menegaskan bahwa sains di dalam Islam tidak pernah berdiri bebas nilai, melainkan senantiasa tunduk pada tujuan tertinggi dari syariat (*Maqashid Asy-Syariah*).

#### 2.4. Posisi Presisi Komputasi sebagai Pemenuhan Syarat Sah Salat (Implementasi *Maqashid Syariah*)

Dalam struktur hukum Islam (fikih), setiap ibadah mahdah dikonstruksi oleh rukun (elemen internal) dan syarat (elemen eksternal yang mendahului ibadah). Mengetahui masuknya waktu salat secara pasti (atau setidaknya dengan dugaan yang sangat kuat/*dzan al-ghalib*) bukanlah sekadar pelengkap administratif, melainkan sebuah **Syarat Sah** yang absolut. Ulama sepakat (*ijma'*) bahwa salat yang didirikan sebelum masuk waktunya—meskipun dilakukan dengan khusyuk dan rukun yang sempurna—dihukumi batal secara syar'i.

Posisi presisi waktu ini melahirkan sebuah imperatif logis yang tertuang dalam kaidah fundamental *Ushul Fiqh*:

مَا لَا يَتِمُّ الْوَجِبُ إِلَّا بِهِ فَهُوَ وَاجِبٌ

*Artinya: "Suatu kewajiban yang tidak sempurna pelaksanaannya kecuali dengan sesuatu hal, maka (mengadakan) sesuatu hal tersebut hukumnya menjadi wajib." (Kamali, 2003).*

Jika melaksanakan salat tepat pada waktunya adalah sebuah kewajiban vertikal, maka menguasai, mengembangkan, dan menggunakan teknologi astrometri yang mampu mendeteksi waktu tersebut secara presisi menjadi kewajiban kolektif (*fardhu kifayah*) bagi umat Islam. Pada masa klasik, observasi visual (*rukyah*) adalah "sesuatu hal" yang diwajibkan tersebut, karena itulah instrumen paling mutakhir yang tersedia pada zamannya. Namun, dalam konteks modern, ketika sains komputasi telah mampu membuktikan inakurasi penglihatan visual akibat refraksi atmosfer, polusi cahaya, dan distorsi topografi, maka pemodelan matematis—seperti yang ditawarkan oleh Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT)—menggambil alih posisi sebagai instrumen wajib tersebut (Djamaluddin, 2011).

Lebih jauh, peralihan dari observasi visual menuju presisi komputasi harus dianalisis melalui pisau bedah **Maqashid Asy-Syariah** (tujuan-tujuan fundamental syariat). Imam Asy-Syathibi dalam mahakaryanya *Al-Muwafaqat* merumuskan bahwa tujuan tertinggi syariat adalah memelihara lima hal pokok (*Ad-Dharuriyyat Al-Khams*), yang mana posisi puncaknya adalah *Hifzh ad-Din* (memelihara kelestarian dan kemurnian agama).

Implementasi komputasi yang presisi beririsan langsung dengan *Hifzh ad-Din* dalam tiga matra:

**Pertama, Transformasi dari *Dzan* Menuju *Yaqin*.** Fikih klasik banyak beroperasi pada wilayah *dzan* (dugaan kuat) ketika menentukan batas fajar atau hilangnya syafak, akibat keterbatasan instrumen. Kaidah fikih menyatakan *Al-yaqinu la yuzalu bisy-syakk* (Keyakinan tidak bisa dihilangkan oleh keraguan). Algoritma komputasi modern mentransformasi parameter waktu dari dugaan visual menjadi keyakinan matematis (*yaqin*). Ketika arsitektur perangkat lunak menghitung Sudut Depresi Matahari -18 derajat untuk Isya, ia melakukan kalkulasi dengan margin kesalahan di bawah skala detik busur (arcsecond). Presisi absolut inilah yang menghilangkan keraguan (*syak*) umat dan menyempurnakan keabsahan niat mereka.

**Kedua, Resolusi atas Anomali Astronomis (*Al-Masyaqqah Tajlib at-Taysir*).** Sebagaimana telah didiskusikan pada sub-bab sebelumnya, geografi bumi yang bundar menciptakan anomali ekstrem di wilayah lintang tinggi. Jika umat Islam di kawasan sub-Arktik atau negara-negara Skandinavia hanya bersandar pada pembacaan teks hadis secara harfiah tanpa bantuan resolusi algoritmis, mereka akan mengalami *masyaqqah* (kesulitan luar biasa) yang mengancam *Hifzh ad-Din*. Mereka akan mendapati waktu Isya tidak pernah masuk selama berminggu-minggu di musim panas.

Syariat merespons kesulitan ini dengan kaidah:

المُسْقَةُ تَجْلِبُ التَّيْسِيرَ

*Artinya: "Kesulitan itu menarik adanya kemudahan."*

Dalam ekosistem komputasi seperti KHGT Times V7.3, *taysir* (kemudahan) ini tidak direkayasa secara serampangan, melainkan diwujudkan melalui formulasi *High Latitude Methods* (seperti *Aqrab al-Ayyam*, *Aqrab al-Balad*, atau *Nisf al-Lail*). Algoritma dirancang untuk secara otomatis mengaktifkan *bypass* komputasi ini manakala fungsi limit kosinus mendeteksi kegagalan matematis (NaN). Dengan demikian, kemudahan syariat difasilitasi oleh kecerdasan artifisial dan algoritma yang kokoh, bukan sekadar kompromi tanpa dasar empiris (Ismail & Ruba'ai, 2019).

**Ketiga, Eliminasi Kekacauan Administratif Global.** Dalam peradaban modern yang terkoneksi tanpa batas negara, disparitas jadwal salat antarwilayah yang disebabkan oleh perbedaan kriteria lokal (lokalisme) sering kali memicu kebingungan dan perselisihan yang mencederai *Hifzh ad-Din*. Integrasi astrometri ke dalam Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) memberikan peta waktu (*temporal map*) yang utuh dan universal. Hal ini merupakan wujud penjagaan terhadap kesatuan umat.

Sebagai kesimpulan untuk Bab ini, dapat ditegaskan bahwa komputasi astronomis bukan sekadar modernisasi teknis, melainkan sebuah lompatan epistemologis untuk memastikan bahwa syarat sahat salat dipenuhi secara kaffah. Presisi yang dihasilkan dari kode-kode algoritma astrometri adalah wujud peradaban Islam dalam membaca "teks alam semesta", mengukuhkan posisi KHGT sebagai instrumen *Maqashid Syariah* paling representatif di abad ke-21. Waktu ibadah yang bersifat *mawquta* kini telah terpetakan dengan sempurna, mengikat bumi yang berputar dengan hukum langit yang kekal.

## DAFTAR PUSTAKA BAB 2

Al-Jabiri, M. A. (1990). *Takwin al-'Aql al-'Arabi* [The Formation of Arab Reason]. Beirut: Markaz Dirasat al-Wahdah al-'Arabiyyah.

Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.

Asy-Syathibi, A. I. (1997). *Al-Muwafaqat fi Ushul asy-Syari'ah* (Vol. 1-4). Al-Khubar: Dar Ibn 'Affan.

Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.

Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.

Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.

Kamali, M. H. (2003). *Principles of Islamic Jurisprudence*. Cambridge: Islamic Texts Society.

Kementerian Agama Republik Indonesia. (2018). *Ephemeris Hisab Rukyat*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bimbingan Masyarakat Islam.

## BAB 3: FUNDAMEN TRIGONOMETRI BOLA DAN MEKANIKA BENDA LANGIT

### 3.1. Sistem Koordinat Ekuatorial dan Horizon

Pemahaman terhadap geometri ruang angkasa merupakan prasyarat mutlak dalam mengonstruksi sistem penentuan waktu ibadah yang presisi. Langit tidak dipandang sebagai kubah datar, melainkan diproyeksikan sebagai sebuah bola raksasa imajiner dengan jari-jari tak terhingga, di mana Bumi berada tepat di pusatnya. Konsep ini dikenal dalam astrometri sebagai Bola Langit (Celestial Sphere). Untuk melacak posisi benda langit—khususnya Matahari sebagai indikator utama waktu salat—diperlukan sistem koordinat spasial yang terstruktur. Dalam arsitektur komputasi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), algoritma bekerja dengan mengkonversi data dari **Sistem Koordinat Ekuatorial** menuju **Sistem Koordinat Horizon**.

**A. Sistem Koordinat Ekuatorial (Equatorial Coordinate System)** Sistem ini bersifat universal dan independen terhadap lokasi pengamat di permukaan Bumi. Sistem ini pada dasarnya adalah proyeksi lintang dan bujur Bumi yang ditarik meluas hingga memotong Bola Langit.

1. **Bidang Referensi:** Ekuator Langit (Celestial Equator), yakni proyeksi ekuator Bumi ke angkasa. Kutub Bumi diproyeksikan menjadi Kutub Langit Utara (North Celestial Pole) dan Kutub Langit Selatan (South Celestial Pole).
2. **Koordinat 1 - Deklinasi (Declination):** Ekuivalen dengan Lintang di Bumi. Deklinasi adalah jarak sudut sebuah benda langit diukur ke utara (positif) atau ke selatan (negatif) dari Ekuator Langit. Nilainya berkisar antara -90 derajat hingga +90 derajat. Pada siklus tahunannya, Deklinasi Matahari bergerak secara dinamis antara sekitar +23.4 derajat (Tropic of Cancer/Musim Panas Utara) hingga -23.4 derajat (Tropic of Capricorn/Musim Dingin Utara) akibat kemiringan sumbu Bumi (oblikuitas ekliptika).
3. **Koordinat 2 - Asensio Rekta (Right Ascension / RA):** Ekuivalen dengan Bujur di Bumi. Asensio Rekta diukur sepanjang Ekuator Langit ke arah timur dari Titik Aries (Vernal Equinox). Satuan yang digunakan biasanya bukan derajat, melainkan jam, menit, dan detik busur (0 hingga 24 jam).

Sistem Ekuatorial merepresentasikan "data mentah" posisi Matahari yang dipublikasikan oleh observatorium internasional melalui tabel efemeris (ephemeris data). Namun, data ini belum memiliki makna fikih sampai ia diterjemahkan ke dalam perspektif pengamat lokal.

**B. Sistem Koordinat Horizon (Horizontal Coordinate System)** Sistem ini bersifat toposentris dan sangat bergantung pada waktu (*time-dependent*) serta lokasi geografis (*location-dependent*) sang pengamat. Ini adalah sistem "dunia nyata" yang menentukan apakah seseorang melihat Matahari terbit, berada di atas kepala, atau terbenam.

1. **Bidang Referensi:** Horizon (Ufuk lokal), yakni bidang datar yang menyinggung permukaan Bumi di titik lokasi pengamat berdiri. Titik tegak lurus tepat di atas kepala

pengamat disebut **Zenit** (Zenith), dan titik tepat di bawah kaki di seberang bola Bumi disebut **Nadir**.

2. **Koordinat 1 - Ketinggian (Altitude / h):** Sudut vertikal benda langit yang diukur dari bidang horizon lokal. Benda di horizon memiliki altitude 0 derajat, benda di Zenit memiliki altitude 90 derajat. Benda yang berada di bawah horizon (seperti saat fenomena Fajar Shadiq atau hilangnya Syafak) memiliki altitude bernilai negatif (Sudut Depresi). Parameter inilah yang menjadi kunci utama eksekusi algoritma *Prayer Times*.
3. **Koordinat 2 - Azimut (Azimuth / A):** Sudut horizontal yang diukur dari titik Utara sejati, berputar searah jarum jam menuju titik potong vertikal benda langit di horizon (0 hingga 360 derajat). Parameter ini juga krusial dalam algoritma penentuan arah kiblat.

**C. Transformasi Sistem Koordinat: Inti Komputasi Fikih** Pergeseran dari data universal (Ekuatorial) menuju data operasional fikih (Horizon) diselesaikan melalui metode Trigonometri Bola (Spherical Trigonometry). Sebuah segitiga bola dibentuk dengan titik sudut berada di Kutub Langit Utara, Titik Zenit, dan posisi Matahari itu sendiri. Segitiga ini dikenal sebagai Segitiga Astronomis (Astronomical Triangle).

Mekanika benda langit mengharuskan penggunaan variabel penengah, yaitu **Sudut Jam (Hour Angle / H)**. Sudut Jam mengukur seberapa jauh (dalam derajat atau jam) Matahari telah bergeser dari garis meridian lokal pengamat (titik Zawal). Transformasi fundamental dari Deklinasi dan Sudut Jam menjadi Ketinggian Matahari dirumuskan dengan persamaan eksak:

$$\sin(h) = (\sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})) + (\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi}) * \cos(H))$$

Persamaan di atas adalah fondasi logis dari semua modul komputasi jadwal salat. Untuk menghitung kapan waktu salat masuk, algoritma komputasi—seperti yang diinisiasi dalam bahasa pemrograman terstruktur (misalnya Python pada pustaka standar astronomi ephemeris atau skyfield)—melakukan proses inversi matematika terhadap persamaan tersebut untuk mengisolasi variabel Sudut Jam (H).

Dalam visi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), standardisasi transformasi bola langit ini bersifat imperatif. Aplikasi KHGT Times tidak hanya membaca ephemeris, tetapi secara komprehensif mengintegrasikan parameter rotasi Bumi sesungguhnya, memperhitungkan nutasi, presesi ekuinoks, serta nilai Delta-T (selisih antara Waktu Universal Terkoordinasi/UTC dengan Waktu Dinamis Bumi/Terrestrial Time) untuk menghasilkan resolusi posisi Matahari dengan ketelitian fraksi detik busur. Tanpa pijakan trigonometri bola yang kokoh ini, dekonstruksi parameter waktu salat seperti Zuhur, Asar, dan Magrib yang akan dibahas pada bab selanjutnya akan kehilangan landasan saintifiknya.

### 3.2. Deklinasi Matahari dan Dinamika Sudut Jam (Hour Angle)

Pergerakan semu harian Matahari yang menjadi penentu utama jadwal ibadah tidaklah bersifat statis, melainkan tunduk pada mekanika orbit Bumi yang sangat dinamis. Al-Qur'an menggambarkan ketetapan orbit ini sebagai sebuah desain mekanika kosmik yang presisi, sebagaimana firman Allah SWT:

وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا، ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ

*Artinya: "Dan matahari berjalan di tempat peredarannya. Demikianlah ketetapan Yang Maha Perkasa lagi Maha Mengetahui." (QS. Yasin: 38).*

Secara astrometri, "tempat peredaran" (*mustaqarr*) atau ketetapan orbit (*taqdir*) ini bermanifestasi dalam dua variabel trigonometri bola yang paling krusial dalam komputasi waktu salat: Deklinasi Matahari dan Sudut Jam (Hour Angle).

**A. Deklinasi Matahari (Declination / Deklinasi)** Deklinasi adalah jarak sudut pusat piringan Matahari dari Ekuator Langit, diukur sepanjang lingkaran meridian (Meeus, 1998). Jika poros rotasi Bumi tegak lurus terhadap bidang edarnya (ekliptika), maka Deklinasi Matahari akan selalu bernilai nol sepanjang tahun. Namun, sumbu Bumi miring dengan sudut sekitar 23,44 derajat (oblikuitas ekliptika). Kemiringan ini mengakibatkan Deklinasi Matahari berfluktuasi secara terus-menerus setiap harinya.

Pada saat *Vernal Equinox* (sekitar 21 Maret) dan *Autumnal Equinox* (sekitar 23 September), Deklinasi Matahari bernilai nol. Namun, pada *Summer Solstice* (sekitar 21 Juni), Matahari mencapai Deklinasi maksimum di Utara (+23,44 derajat), dan pada *Winter Solstice* (sekitar 22 Desember), ia mencapai Deklinasi maksimum di Selatan (-23,44 derajat).

Dinamika Deklinasi ini memiliki implikasi fikih yang sangat masif. Nilai Deklinasi secara langsung menentukan panjang bayangan saat waktu *zawal* (Zuhur), yang kemudian menjadi basis kalkulasi waktu Asar. Di lintang menengah seperti Eropa, pada musim dingin ketika Deklinasi bernilai negatif besar, Matahari berada sangat rendah di ufuk selatan. Akibatnya, panjang bayangan *zawal* menjadi sangat panjang, sehingga rentang waktu antara Zuhur dan Asar menjadi lebih singkat. Sebaliknya, fluktuasi Deklinasi ini pulalah yang menyebabkan variasi ekstrem durasi siang dan malam, yang bermuara pada gagalnya kemunculan fajar atau hilangnya syafak di lintang tinggi.

**B. Sudut Jam (Hour Angle / H)** Jika Deklinasi merepresentasikan posisi Utara-Selatan di bola langit, maka Sudut Jam (H) merepresentasikan pergerakan Timur-Barat akibat rotasi Bumi. Sudut Jam didefinisikan sebagai busur pada Ekuator Langit yang diukur dari meridian lokal pengamat ke arah Barat hingga mencapai lingkaran waktu (hour circle) yang melewati Matahari (Djamaluddin, 2011).

Secara konsep komputasi, Sudut Jam adalah jembatan yang menghubungkan "sudut elevasi (derajat)" menjadi "waktu (jam/menit)". Mengingat Bumi berotasi 360 derajat dalam waktu 24 jam, maka nilai ekuivalensinya secara konstan adalah 15 derajat per jam. Saat Matahari tepat berada di meridian lokal (waktu *Zawal* / kulminasi), Sudut Jam bernilai 0 derajat. Sebelum meridian (pagi hari), nilai H negatif; setelah meridian (sore hari), nilai H positif.

**C. Formulasi Matematika dan Resolusi Komputasi pada KHGT Times** Tujuan utama dari arsitektur komputasi jadwal salat adalah menemukan "pukul berapa" sebuah Ketinggian Matahari (h) spesifik tercapai—misalnya kapan h mencapai -18 derajat untuk Isya, atau kapan h memenuhi

rasio bayangan Asar. Untuk mendapatkan waktu tersebut, sistem harus mengkalkulasi Sudut Jam (H).

Menurut hukum kosinus pada segitiga bola astronomis, Sudut Jam diisolasi menjadi persamaan fundamental berikut:

$$H = \arccos \left( \frac{\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})}{\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})} \right)$$

Persamaan inilah yang menjadi inti pemrosesan dalam lingkungan pemrograman Python tingkat lanjut pada aplikasi seperti KHGT Times V7.3. Dalam implementasinya, perangkat lunak menggunakan pustaka astrometri (seperti `ephem` atau `skyfield`) untuk secara *real-time* menarik nilai Deklinasi Matahari dengan akurasi sangat tinggi pada hari komputasi tersebut, lalu menyubstitusikannya ke dalam persamaan di atas bersama dengan nilai Lintang (latitude) pengamat dan target Ketinggian Matahari (h).

Analisis *Deep-Dive* secara matematis menunjukkan kerentanan algoritma ini. Fungsi *arccos* (inversi kosinus) secara matematis hanya terdefinisi (valid) pada domain nilai antara -1 hingga 1. Jika rasio pembilang dan penyebut di dalam kurung menghasilkan nilai lebih besar dari 1 atau lebih kecil dari -1, hal ini secara fisis berarti: lintasan orbit harian Matahari yang diatur oleh Deklinasinya pada Lintang tersebut *tidak pernah bersinggungan* dengan batas Ketinggian (h) yang diminta.

Pada kondisi inilah sistem komputasi Python akan menghasilkan *Math Domain Error* atau status komputasi *Not a Number* (NaN). Dalam ekosistem Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), kegagalan limit trigonometri ini tidak dianggap sebagai cacat program (*bug*), melainkan sebuah pemicu (*trigger*) algoritmis yang memerintahkan sistem untuk mengambil rute *bypass*. Begitu *error* ini terdeteksi pada musim panas di lintang ekstrem, sistem secara otomatis mensubstitusi kalkulasi konvensional tersebut dengan metode fikih sekunder seperti pembagian malam (*Nisf al-Lail*) atau lintang terdekat (*Aqrab al-Balad*), demi menjaga keteraturan jadwal umat Islam secara global.

### 3.3. Refraksi Atmosfer, Kerendahan Ufuk (Dip), dan Semi-Diameter Matahari

Konstruksi trigonometri bola yang telah dieksplorasi pada sub-bab sebelumnya beroperasi pada sebuah asumsi teoretis: bahwa Bumi adalah bola geometris sempurna tanpa atmosfer, dan pengamat berada tepat di permukaan laut (elevasi nol) melihat Matahari sebagai sebuah titik (point source). Namun, realitas astrometri jauh lebih kompleks. Untuk menjembatani persamaan teoretis dengan validitas observasi visual (rukyah) yang disyaratkan oleh fikih, algoritma penentuan jadwal salat—khususnya dalam arsitektur Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT)—harus menyuntikkan tiga parameter korektif utama: Refraksi Atmosfer, Kerendahan Ufuk (Dip), dan Semi-Diameter Matahari.

Ketiga parameter ini secara khusus sangat krusial dalam menentukan waktu Magrib dan Syuruq (terbit matahari). Fikih mendefinisikan Magrib bukan pada saat *pusat* Matahari sejajar dengan ufuk, melainkan ketika seluruh piringannya telah lenyap. Hal ini didasarkan pada hadis sahih riwayat Umar bin Khattab radhiyallahu 'anhu, di mana Rasulullah SAW bersabda:

إِذَا أَقْبَلَ اللَّيْلُ مِنْ هَاهُنَا، وَأَدْبَرَ النَّهَارُ مِنْ هَاهُنَا، وَغَرَبَتِ الشَّمْسُ فَقَدْ أَفْطَرَ الصَّائِمُ

Artinya: "Jika malam telah datang dari sini (ufuk timur), dan siang telah pergi dari sini (ufuk barat), dan matahari telah terbenam, maka orang yang berpuasa telah berbuka." (HR. Bukhari dan Muslim).

Kata *gharabati asy-syamsu* (matahari telah terbenam) menuntut lenyapnya piringan teratas secara visual. Di sinilah ketiga parameter fisika berikut mengambil peran:

**A. Refraksi Atmosferik (Atmospheric Refraction)** Bumi diselubungi oleh lapisan atmosfer dengan kerapatan (densitas) yang semakin meningkat ke arah permukaan. Berdasarkan hukum Snellius dalam optika, ketika cahaya Matahari memasuki lapisan atmosfer dari ruang hampa kosmik, lintasan cahaya tersebut dibelokkan (dibiaskan) ke arah garis normal. Akibatnya, secara optis, Matahari selalu terlihat lebih tinggi dari posisi geometris (astronomis) aslinya.

Di dekat titik Zenit, efek refraksi ini bernilai nol. Namun, ketika Matahari berada tepat di horizon (ufuk), refraksi mencapai nilai maksimumnya, yang secara rata-rata dihitung sekitar 34 menit busur (atau 0,566 derajat). Implikasi fikih dari fenomena ini sangat besar: pada saat mata manusia melihat piringan bawah Matahari baru saja menyentuh ufuk barat, secara perhitungan geometri astronomis yang sebenarnya, Matahari tersebut telah seluruhnya berada di bawah horizon. Jika sistem komputasi KHGT mengabaikan refraksi, maka jadwal azan Magrib akan berkumandang lebih cepat dari yang seharusnya, yang berakibat fatal pada batalnya puasa umat secara massal (Djamaluddin, 2011).

**B. Semi-Diameter Matahari (Solar Semi-Diameter)** Matahari memiliki ukuran fisik yang sangat masif, sehingga dari Bumi ia terlihat sebagai sebuah piringan (disk) dengan diameter sudut rata-rata sekitar 32 menit busur (0,533 derajat). Persamaan Sudut Jam (H) selalu menghitung jarak lintasan untuk **titik pusat** piringan Matahari (center of the disk).

Karena Magrib terjadi ketika *piringan bagian atas* tenggelam (dan Syuruq terjadi ketika *piringan bagian atas* muncul), algoritma harus memberikan kompensasi sebesar jari-jari Matahari, yaitu separuh dari diameternya (Semi-Diameter). Nilai rata-rata Semi-Diameter adalah 16 menit busur (0,266 derajat) (Meeus, 1998). Karena orbit Bumi elips, nilai ini berfluktuasi sedikit (lebih besar saat Perihelion di bulan Januari, dan lebih kecil saat Aphelion di bulan Juli). Komputasi tingkat tinggi pada KHGT Times secara otomatis melacak fluktuasi ini melalui data efemeris.

**C. Kerendahan Ufuk (Dip of the Horizon)** Sudut ufuk yang terlihat oleh pengamat sangat bergantung pada ketinggian pengamat (elevasi) dari permukaan laut. Semakin tinggi posisi pengamat, ufuk visual akan tampak semakin "turun" melengkung mengikuti kelengkungan Bumi. Fenomena ini disebut Kerendahan Ufuk atau *Dip*.

Secara fisis, pengamat di lantai dasar gedung melihat Matahari terbenam lebih awal dibandingkan pengamat di lantai puncak gedung yang sama. Dalam astronomi navigasi, koreksi ini dihitung secara eksak dengan rumus:

$$\text{Dip} = 1.76 * \text{akar}(\text{Elevasi\_dalam\_meter})$$

Di mana hasil *Dip* didapatkan dalam satuan menit busur. Aplikasi KHGT Times memungkinkan pengguna memasukkan variabel elevasi tempat pengamatan.

**Sintesis Algoritmis Ketinggian Terbenam dan Terbit** Untuk menghitung Sudut Jam (H) pada saat Magrib dan Syuruq, ketiga variabel korektif ini diakumulasikan menjadi satu parameter Ketinggian Matahari (h) bernilai absolut negatif. Kombinasi ketiganya merumuskan bahwa saat Matahari terbenam secara visual, posisi pusat astronomisnya sesungguhnya berada di bawah ufuk teoritis.

Secara standar algoritma (jika elevasi dianggap 0 mdpl), Ketinggian Matahari untuk Magrib dan Syuruq ditetapkan pada:

$$h_{\text{magrib}} = -(\text{Refraksi} + \text{Semi-Diameter}) \quad h_{\text{magrib}} = -(0.566 \text{ derajat} + 0.266 \text{ derajat}) \quad h_{\text{magrib}} = -0.833 \text{ derajat (atau -50 menit busur)}$$

Jika memperhitungkan *Dip* (ketinggian tempat), persamaannya menjadi:  $h_{\text{koreksi}} = -(\text{Refraksi} + \text{Semi-Diameter} + \text{Dip})$

Sintesis astrometri optik dan geometri ruang ini menegaskan bahwa algoritma KHGT bukan sekadar kalkulator matematis buta. Ia adalah replikasi matematis dari mata seorang *faqih* yang berdiri di ufuk, menelaah setiap interaksi cahaya dan kelengkungan bumi, untuk memastikan bahwa hak Allah SWT tertunaikan tepat pada fraksi waktu yang diperintahkan.

### 3.4. Formulasi Umum Ketinggian Matahari terhadap Sudut Jam (Model Matematis Dasar)

Ketiga sub-bab sebelumnya telah membedah anatomi komponen-komponen astrometri secara terpisah—mulai dari sistem koordinat bola langit, dinamika Deklinasi dan Sudut Jam, hingga koreksi optik atmosferik (refraksi, semi-diameter, dan *dip*). Pada tahap ini, seluruh variabel tersebut dikonvergensi ke dalam sebuah model matematis dasar (Sistem Persamaan Trigonometri Bola) yang bertindak sebagai mesin utama (*core engine*) dalam arsitektur komputasi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) dan aplikasi KHGT Times V7.3.

Tatanan matematis yang mengikat pergerakan matahari ini merupakan wujud dari kesempurnaan ciptaan yang berjalan pada garis edarnya yang presisi, sejalan dengan firman Allah SWT:

وَهُوَ الَّذِي خَلَقَ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ

*Artinya: "Dan Dialah yang telah menciptakan malam dan siang, matahari dan bulan. Masing-masing dari keduanya itu beredar di dalam garis edarnya." (QS. Al-Anbiya: 33).*

Kata *yasbahun* (beredar/berenang pada lintasan) dalam kacamata mekanika benda langit merepresentasikan sebuah pergerakan kontinyu yang mematuhi hukum geometri bola (Spherical Geometry).

**A. Segitiga Astronomis dan Persamaan Induk (The Master Equation)** Model matematis dasar untuk memprediksi posisi Matahari di langit pengamat didasarkan pada Segitiga Astronomis (Astronomical Triangle). Segitiga ini dibentuk oleh tiga titik imajiner pada bola langit: Kutub Utara Langit (North Celestial Pole), Zenit (titik tepat di atas kepala pengamat), dan Titik Pusat Matahari.

Dengan menggunakan Hukum Kosinus untuk Segitiga Bola (Spherical Law of Cosines), hubungan antara Ketinggian Matahari ( $h$ ), Deklinasi Matahari (Deklinasi), Lintang Geografis Pengamat (Lintang), dan Sudut Jam ( $H$ ) dirumuskan dalam satu persamaan induk yang absolut:

$$\sin(h) = (\sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})) + (\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi}) * \cos(H))$$

Persamaan ini bersifat prediktif: jika kita mengetahui Lintang, Deklinasi, dan pada jam berapa ( $H$ ) kita mengamati, kita akan dapat mengetahui secara pasti berapa derajat Ketinggian ( $h$ ) Matahari dari ufuk.

**B. Inversi Formulasi: Dari Ruang menuju Waktu** Namun, komputasi jadwal ibadah—seperti modul *Prayer Times* pada KHGT Times—membutuhkan logika yang terbalik (inversi). Fikih telah menetapkan target Ketinggian ( $h$ ) untuk masing-masing waktu salat (misalnya  $h = -18$  derajat untuk Isya, atau  $h_{\text{asar}}$  berdasarkan perhitungan panjang bayangan). Yang dicari oleh sistem komputasi adalah  **kapan waktu ( $H$ )** kejadian tersebut berlangsung.

Oleh karena itu, algoritma melakukan manipulasi aljabar terhadap persamaan induk untuk mengisolasi nilai kosinus Sudut Jam:

$$\cos(H) = (\sin(h) - (\sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi}))) / (\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi}))$$

Dari titik ini, nilai Sudut Jam ( $H$ ) dalam satuan derajat diperoleh melalui fungsi inversi kosinus (arc-cosine):

$$H = \arccos ( (\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})) / (\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})) )$$

Nilai  $H$  yang dihasilkan masih berbentuk derajat busur. Karena Bumi berotasi 360 derajat dalam 24 jam, maka nilai ekuivalensinya adalah 15 derajat per 1 jam. Oleh karenanya, nilai  $H$  dikonversi menjadi satuan waktu murni dengan cara membaginya dengan 15.

**C. Eksekusi Algoritmis dalam KHGT Times V7.3** Dalam kerangka *software engineering* berbasis Python yang digagas oleh KHGT Times V7.3, persamaan matematis dasar ini tidak dieksekusi secara statis, melainkan melalui *looping* perhitungan yang dinamis terintegrasi dengan pustaka astrometri (seperti `ephem` atau representasi *array numpy*). Alur komputasinya adalah sebagai berikut:

1. **Penentuan Target ( $h$ ):** Sistem mendefinisikan target Ketinggian Matahari ( $h$ ). Untuk Zuhur,  $h$  adalah maksimum (meridian transit ditambah margin Ihtiyat). Untuk Asar,  $h$  diformulasikan dari rasio bayangan. Untuk Magrib dan Syuruq,  $h$  bernilai negatif

(memperhitungkan refraksi, semi-diameter, dan *dip*). Untuk Isya dan Subuh,  $h$  adalah sudut depresi astronomis (misal -18 derajat).

2. **Kalkulasi Sudut Jam (H):** Nilai  $h$ , bersama Lintang (dari input lokasi) dan Deklinasi (dari data efemeris hari itu), disubstitusikan ke dalam persamaan inversi kosinus.
3. **Evaluasi Limit Matematika (Validasi Logika High Latitude):** Di sinilah letak keunggulan model komputasinya. Sebelum fungsi `arccos` dieksekusi, sistem mengevaluasi nilai rasio:  $\text{Rasio} = (\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})) / (\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi}))$ . Secara fisis, jika nilai Rasio  $> 1$ , itu berarti Matahari tidak pernah naik melampaui ketinggian ( $h$ ) tersebut. Jika Rasio  $< -1$ , Matahari tidak pernah turun hingga mencapai kedalaman ( $h$ ) tersebut (fenomena *White Nights* atau Senja Bersambung Fajar di wilayah sub-Arktik). Apabila evaluasi ini memicu indikator *Math Domain Error* (atau *NaN / Not a Number*), algoritma KHGT dengan cerdas menginterupsi proses (melakukan *bypass*) dan mengalihkan penentuan waktu pada metode sekunder (seperti *Nisfal-Lail* atau *Aqrab al-Ayyam*).
4. **Konversi Waktu Universal:** Jika Rasio valid (di antara -1 dan 1), Sudut Jam dihitung dan dikonversi dari satuan derajat busur menjadi jam. Waktu salat lokal kemudian ditetapkan berdasarkan selisih waktu Zawal dikurangi  $H$  (untuk waktu sebelum Zawal seperti Subuh/Syuruq) atau Zawal ditambah  $H$  (untuk waktu setelah Zawal seperti Asar/Magrib/Isya).

Formulasi umum ini merupakan pembuktian tak terbantahkan bahwa fikih Islam memiliki kompatibilitas yang sempurna dengan struktur matematika kosmik. Ketetapan waktu (*mawquta*) bukanlah dogma yang anti-sains, melainkan sebaliknya: ia menuntut penguasaan *spherical trigonometry* secara presisi.

---

### DAFTAR PUSTAKA BAB 3

- Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.
- Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.
- Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.
- Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.
- Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.
- Odegaard, K. J. (2007). *Islamic Prayer Times at High Latitudes*. Oslo: University of Oslo (Institute of Theoretical Astrophysics).
- Yallop, B. D. (1997). *A Method for Predicting the Sighting of the New Crescent Moon*. Cambridge: HM Nautical Almanac Office.

## BAB 4: DEKONSTRUKSI ALGORITMA: ZUHUR, ASAR, DAN MAGRIB

### 4.1. Pemodelan Kulminasi Atas (Meridian Transit) untuk Waktu Zuhur

Titik tolak dari seluruh arsitektur jadwal salat harian bermula dari penentuan waktu Zuhur. Dalam literatur fikih, waktu Zuhur didefinisikan secara universal dengan istilah *zawal*, yakni momen ketika Matahari mulai tergelincir ke arah barat setelah mencapai titik tertingginya di langit. Definisi ini bersumber langsung dari sabda Rasulullah SAW:

أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: وَقْتُ الظُّهْرِ إِذَا زَالَتِ الشَّمْسُ

*Artinya: "Sesungguhnya Rasulullah SAW bersabda: Waktu Zuhur adalah ketika matahari tergelincir..."* (HR. Muslim).

Untuk menerjemahkan instruksi *Bayani* (teks) ini ke dalam bahasa algoritma (*Burhani*), astronomi sferis menggunakan konsep Kulminasi Atas atau *Meridian Transit*. Meridian lokal adalah sebuah garis melingkar imajiner di bola langit yang ditarik dari Kutub Utara, melewati titik Zenit (tepat di atas kepala pengamat), menuju Kutub Selatan. Ketika pusat piringan Matahari memotong garis meridian lokal ini, peristiwa tersebut disebut sebagai Transit. Pada sepersekian milidetik Transit ini terjadi, Sudut Jam (H) Matahari bernilai eksak nol (0 derajat), dan Matahari berada pada Ketinggian (h) maksimumnya untuk hari tersebut. Waktu *zawal* secara fisis bermula tepat sedetik setelah fase Transit ini berlalu, saat Sudut Jam (H) mulai bernilai positif.

Secara komputasi awam, transit diasumsikan selalu terjadi pada pukul 12:00 siang waktu lokal. Namun, astrometri menolak penyederhanaan ini. Model komputasi pada Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) mengevaluasi dua anomali mekanika benda langit yang mendistorsi waktu transit: eksentrisitas orbit Bumi dan kemiringan ekliptika (oblikuitas).

Berdasarkan Hukum Kepler Kedua, Bumi bergerak lebih cepat saat berada di titik Perihelion (terdekat dengan Matahari pada bulan Januari) dan lebih lambat saat di titik Aphelion (terjauh pada bulan Juli). Selain itu, Matahari bergerak di sepanjang ekliptika, bukan di Ekuator Langit. Kedua faktor ini menghasilkan disparitas antara "Waktu Matahari Rata-Rata" (jam mekanik kita) dengan "Waktu Matahari Sejati" (jam matahari/mizwalah). Selisih fluktuatif harian antara keduanya dikenal sebagai *Equation of Time* (EoT) atau Perata Waktu.

Algoritma untuk menentukan Waktu Transit dalam aplikasi seperti KHGT Times V7.3 harus meresolusi EoT ini. Persamaan dasar komputasinya dirumuskan sebagai:

$$\text{Waktu Transit} = 12:00 + ( (\text{Bujur\_Standar} - \text{Bujur\_Lokal}) / 15 ) - \text{EoT}$$

Di mana:

1. **12:00** adalah konstanta Transit Matahari Rata-rata.

2. **Bujur\_Standar** adalah garis bujur tengah dari zona waktu yang digunakan (misalnya 105 derajat Bujur Timur untuk WIB).
3. **Bujur\_Lokal** adalah koordinat bujur geografis spesifik tempat pengamat berada. Selisih bujur ini dibagi 15 karena Bumi berotasi 15 derajat per jam.
4. **EoT** adalah Equation of Time dalam satuan jam, yang nilainya dinamis setiap harinya (berkisar antara -14 menit hingga +16 menit sepanjang tahun).

Melalui pustaka Python seperti `ephem`, KHGT Times tidak perlu lagi menggunakan tabel fungsi hampiran empiris untuk menghitung EoT. Perangkat lunak secara *real-time* menghitung Asensio Rekta (Right Ascension) Matahari dan mengkomparasinya dengan Waktu Sideris Lokal (Local Sidereal Time / LST). Transit secara presisi absolut terjadi pada fraksi waktu di mana nilai Asensio Rekta sama persis dengan Waktu Sideris Lokal.

Pendekatan *Deep-Dive* komputasional ini menjamin bahwa waktu *zawal* dipetakan tanpa distorsi. Kepastian Waktu Transit ini tidak hanya fundamental bagi sahnya salat Zuhur, tetapi ia merupakan jangkar penentu (konstanta dasar) yang akan digunakan untuk memproyeksikan persamaan bayangan pada waktu Asar dan titik balik waktu Magrib.

## 4.2. Penentuan Ihtiyat (Safety Margin) Berdasarkan Lintang Pengamat

Konsep presisi absolut dalam astrometri—seperti penentuan Waktu Transit atau Kulminasi Atas yang telah dibahas sebelumnya—sering kali berhadapan dengan realitas fisis observasi dan prinsip fundamental dalam ushul fiqh. Meskipun algoritma komputer mampu menghitung waktu kulminasi hingga pecahan milidetik, fikih Islam mensyaratkan sebuah langkah preventif yang dikenal sebagai *Ihtiyat* (margin kehati-hatian atau *safety margin*). *Ihtiyat* bukanlah sebuah bentuk keraguan terhadap hasil komputasi (sains), melainkan instrumen yurisprudensi untuk memastikan bahwa syarat sah ibadah benar-benar telah terpenuhi di alam nyata.

**A. Landasan Fikih: Prinsip Kehati-hatian dalam Ibadah** Dalam diskursus fikih, melaksanakan salat Zuhur tepat pada detik terjadinya Kulminasi Atas adalah tidak sah, karena pada momen tersebut Matahari belum bergeser ke arah Barat (belum terjadi *zawal*). Selain itu, waktu saat matahari tepat berada di puncaknya (meridian) termasuk dalam waktu yang dimakruhkan (bahkan diharamkan menurut sebagian ulama) untuk mendirikan salat, hingga ia benar-benar tergelincir.

Hal ini didasarkan pada prinsip *Sadd ad-Dzari'ah* (menutup jalan menuju keharaman/kerusakan) dan semangat *wara'* (kehati-hatian) yang bersumber dari sabda Rasulullah SAW:

دَعْ مَا يَرِيْبُكَ إِلَىٰ مَا لَا يَرِيْبُكَ

Artinya: "Tinggalkanlah apa yang meragukanmu menuju kepada apa yang tidak meragukanmu." (HR. Tirmidzi dan An-Nasa'i).

Berdasarkan hadis ini, para ulama falak merumuskan bahwa jadwal salat yang dipublikasikan ke ranah publik harus ditambah (*add*) untuk waktu mulai (Zuhur, Asar, Magrib, Isya) dan dikurangi (*subtract*) untuk waktu akhir (Imsak, Syuruq) sebesar nilai *Ihtiyat* tertentu, guna mengeliminasi sekecil apapun keraguan bahwa waktu tersebut belum masuk.

**B. Dekonstruksi Astrometri: Mengapa Ihtiyat untuk Zuhur Dibutuhkan?** Jika sistem KHGT Times V7.3 menghitung Waktu Transit pada pukul 11:58:30, mengapa kita tidak menetapkan waktu Zuhur pada 11:58:31? Jawabannya terletak pada ukuran fisik Matahari itu sendiri.

Persamaan Kulminasi Atas beroperasi dengan melacak titik pusat geometris (center point) dari benda langit. Namun, dari sudut pandang pengamat di Bumi, Matahari adalah sebuah piringan gas raksasa dengan Semi-Diameter (jari-jari sudut) rata-rata sebesar 16 menit busur. Ketika pusat Matahari melintasi garis meridian, separuh piringan Matahari bagian timur (trailing edge) sesungguhnya masih berada di belahan langit timur. *Zawal* secara fisis baru terjadi secara sempurna apabila seluruh piringan Matahari telah melepaskan diri dari garis meridian dan sepenuhnya masuk ke belahan langit barat.

Bumi berotasi pada ekuator dengan kecepatan sudut 15 derajat per jam. Jika dikonversi secara linear: 1 jam = 60 menit waktu = 15 derajat busur 1 menit waktu = 15 menit busur

Mengingat Semi-Diameter Matahari adalah sekitar 16 menit busur, maka waktu yang dibutuhkan oleh piringan Matahari untuk bergeser melewati meridian murni akibat rotasi Bumi adalah: Waktu Geser = 16 menit busur / 15 menit busur per menit waktu = 1.06 menit waktu (sekitar 1 menit 4 detik).

Oleh karena itu, penambahan *Ihtiyat* sebesar 1 hingga 2 menit sesudah Waktu Transit bukanlah estimasi yang mengada-ada, melainkan kompensasi matematis mutlak agar seluruh anatomi visual Matahari dipastikan telah tergelincir (*zawal*).

**C. Dinamika Ihtiyat Berdasarkan Lintang Pengamat (Latitude Effect)** Kesenjangan riset sering kali muncul ketika *Ihtiyat* sebesar 2 menit diterapkan secara konstan secara global tanpa mempertimbangkan topologi lintang. Kecepatan sudut 15 menit busur per menit waktu hanya berlaku absolut bagi benda langit yang berada tepat di Ekuator Langit (Deklinasi = 0 derajat) dan diamati dari ekuator Bumi (Lintang = 0 derajat).

Ketika Matahari memiliki Deklinasi ekstrem (misalnya +23.4 derajat pada musim panas), dan diamati dari wilayah dengan Lintang tinggi (misalnya London di 51 derajat LU), lintasan Matahari melintasi meridian tidak memotong secara tegak lurus, melainkan dengan lintasan yang melengkung dan lebih "landai". Semakin landai lintasan tersebut, waktu efektif yang dibutuhkan piringan Matahari untuk membebaskan diri dari meridian secara azimuth menjadi sedikit lebih lama.

Dalam arsitektur komputasi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), algoritma mengakomodasi hal ini. Meskipun secara praktis administratif di wilayah tropis seperti Indonesia (Lintang rendah) penambahan 2 menit sudah sangat memadai, sistem pada KHGT Times V7.3 dapat dikalibrasi untuk menerapkan pembulatan waktu ke atas (*ceiling rounding*) atau fungsi waktu tambahan dinamis yang proporsional dengan nilai *absolute secant* dari Deklinasi, guna memberikan jaminan *zawal* yang aman bagi negara-negara di lintang ekstrem.

Selain itu, variabel *Ihtiyat* ini juga berfungsi untuk menutupi *error margin* dari elevasi tanah (topografi), ketidakakuratan jam tangan pengguna, hingga durasi muadzin dalam persiapan

mengumandangkan azan. Pemisahan antara "Waktu Astronomis Murni" dan "Waktu Fikih Publik" melalui variabel *Ihtiyat* ini menegaskan fleksibilitas sains komputasi dalam melayani tujuan-tujuan *Maqashid Syariah*.

### 4.3. Waktu Asar: Komparasi Rasio Bayangan (Analisis Mazhab Jumhur vs Hanafi)

Jika waktu Zuhur direpresentasikan oleh pergeseran Matahari dari garis meridian, maka waktu Asar sepenuhnya didefinisikan melalui optika geometris, yakni fenomena pemanjangan bayangan benda yang disinari oleh Matahari. Dalam sejarah tasyri' (penetapan hukum Islam), indikator Asar merupakan salah satu contoh paling awal bagaimana observasi fisika terapan (pengukuran rasio) digunakan untuk menentukan ketetapan ibadah.

**A. Landasan Fikih dan Ikhtilaf Mazhab** Parameter utama penentuan Asar bersumber dari Hadis Jibril tentang waktu-waktu salat, sebagaimana diriwayatkan dari Ibnu Abbas radhiyallahu 'anhuma:

ثُمَّ صَلَّى بِي الْعَصْرِ جِبْرِيلُ صَارَ ظِلُّ كُلِّ شَيْءٍ مِثْلَهُ

*Artinya: "Kemudian ia (Jibril) mengimami saya salat Asar tatkala bayangan setiap benda sama panjang dengan bendanya." (HR. Ahmad, Abu Dawud, dan Tirmidzi).*

Dari deskripsi visual ini, muncul dua interpretasi fikih (ikhtilaf) yang kemudian menjadi pedoman utama dalam dunia komputasi falak modern:

1. **Mazhab Jumhur (Mayoritas):** Meliputi mazhab Syafi'i, Maliki, dan Hanbali. Jumhur berpendapat bahwa waktu Asar masuk tatkala panjang bayangan suatu benda sama persis dengan tinggi benda tersebut, ditambah dengan panjang bayangan benda itu pada waktu *zawal* (saat Matahari berkulminasi).
2. **Mazhab Hanafi:** Imam Abu Hanifah memiliki pandangan yang lebih berhati-hati, berpegang pada riwayat lain yang menyiratkan penundaan. Mazhab ini menetapkan bahwa Asar baru masuk ketika panjang bayangan mencapai dua kali lipat dari tinggi benda aslinya, ditambah bayangan waktu *zawal*.

**B. Formulasi Trigonometri Bayangan (Shadow Trigonometry)** Dalam perspektif komputasi, perangkat lunak seperti KHGT Times V7.3 tidak dapat secara harfiah "mengukur bayangan". Sistem harus mengkonversi rasio bayangan tersebut menjadi nilai **Ketinggian Matahari (h)**, yang kemudian akan disubstitusikan ke dalam persamaan Sudut Jam (H) seperti yang telah dibahas pada Bab 3.

Untuk memodelkan ini, para ahli astrometri menyusun geometri bayangan benda. Asumsikan sebuah tongkat vertikal (gnomon) memiliki ketinggian = 1 unit.

1. **Bayangan Zawal (Zill Awwal):** Pada saat kulminasi atas, Matahari belum tentu berada tepat di Zenit (ketinggian 90 derajat). Jarak sudut antara Matahari saat kulminasi dengan titik Zenit disebut Jarak Zenit (Zenith Distance / Z). Nilai Z dihitung dari selisih absolut

antara Lintang pengamat dan Deklinasi Matahari.  $Z = |\text{Lintang} - \text{Deklinasi}|$  Berdasarkan fungsi tangen (depan/samping), panjang bayangan saat *zawal* adalah tangen dari Jarak Zenit tersebut:  $\text{Panjang\_Bayangan\_Zawal} = \tan(|\text{Lintang} - \text{Deklinasi}|)$

2. **Bayangan Saat Asar:** Berdasarkan definisi mazhab, panjang bayangan saat Asar ( $S_{\text{asar}}$ ) diformulasikan dengan menambahkan sebuah konstanta pengali (Multiplier /  $M$ ) terhadap tinggi tongkat (1 unit):  $S_{\text{asar}} = M + \text{Panjang\_Bayangan\_Zawal}$   $S_{\text{asar}} = M + \tan(|\text{Lintang} - \text{Deklinasi}|)$  Di mana:  $M = 1$  untuk kriteria Jumhur.  $M = 2$  untuk kriteria Hanafi.
3. **Inversi menuju Ketinggian Matahari ( $h_{\text{asar}}$ ):** Karena panjang bayangan adalah fungsi tangen dari Jarak Zenit (atau fungsi kotangen dari Ketinggian Matahari), maka Ketinggian Matahari saat Asar dapat ditarik menggunakan fungsi balikan *arccotangent* ( $\text{arccot}$ ):  $\text{cot}(h_{\text{asar}}) = S_{\text{asar}}$   $h_{\text{asar}} = \text{arccot}(M + \tan(|\text{Lintang} - \text{Deklinasi}|))$

Mengingat banyak bahasa pemrograman (termasuk Python) tidak memiliki fungsi *arccotangent* bawaan, persamaan ini secara komputasi sering diubah menggunakan identitas *arctangent* ( $\text{arctan}$ ) dari kebalikan nilainya:  $h_{\text{asar}} = \text{arctan}(1 / (M + \tan(|\text{Lintang} - \text{Deklinasi}|)))$

**C. Eksekusi Komputasi pada Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT)** Persamaan di atas merupakan *masterpiece* deduksi matematika yang menjembatani teks fikih berabad-abad silam dengan sains komputasi kontemporer. Pada arsitektur KHGT Times, algoritma ini diimplementasikan secara dinamis.

Perangkat lunak menghitung terlebih dahulu *array* Deklinasi Matahari yang presisi pada hari tersebut, mengevaluasi Lintang pengamat, lalu memproses nilai  $h_{\text{asar}}$  tersebut. Setelah  $h_{\text{asar}}$  didapatkan (misalnya, di Jakarta pada tanggal tertentu,  $h_{\text{asar}}$  untuk Jumhur bernilai sekitar 35 derajat, sedangkan Hanafi bernilai sekitar 22 derajat), nilai ini dilempar ke persamaan induk Sudut Jam ( $H$ ) untuk mencari tahu pada jam berapakah ketinggian tersebut tercapai.

Keunggulan sistem ini adalah pada kejelasan administratifnya. Perbedaan waktu Asar antara penganut Jumhur dan Hanafi bisa mencapai 45 menit hingga 1 jam penuh, terutama di daerah lintang tinggi pada musim dingin, ketika Matahari berada sangat rendah di selatan dan bayangan memanjang dengan sangat cepat. Melalui penyediaan variabel  $M$  pada pengaturan (*settings*), aplikasi KHGT Times mengelola khilafiyah fikih bukan sebagai galat perhitungan (*error*), melainkan sebagai parameter sah (*valid parameter*) yang memberikan kebebasan dan inklusivitas bagi umat Islam global tanpa mengorbankan akurasi empiris.

#### 4.4. Waktu Magrib: Pemodelan Terbenamnya Piringan Atas Matahari (Visibilitas dan Efek Optik Atmosfer)

Sebagai penutup dari siklus ibadah siang hari (*daytime prayers*) dan penanda transisi menuju hari yang baru dalam kalender Hijriah, waktu Magrib menduduki posisi krusial dalam arsitektur komputasi waktu. Magrib tidak hanya membatasi waktu Asar, tetapi juga menjadi garis demarkasi bagi pelaksanaan ibadah puasa. Ketegasan batas waktu ini difirmankan oleh Allah SWT:

ثُمَّ أَتَمُّوا الصِّيَامَ إِلَى اللَّيْلِ

Artinya: "Kemudian sempurnakanlah puasa itu sampai (datang) malam." (QS. Al-Baqarah: 187).

Tafsir operasional dari "datangnya malam" dalam ayat tersebut disepakati oleh *ijma'* ulama sebagai momen terbenamnya matahari (*ghurub asy-syams*). Namun, dalam tinjauan astrometri komputasional, istilah "terbenam" mengandung ambiguitas fisis: apakah yang terbenam itu bagian bawah piringan (lower limb), titik pusat piringan (center disk), atau seluruh piringan (upper limb)? Berdasarkan kaidah kehati-hatian fikih, waktu Magrib dinyatakan sah hanya ketika piringan atas matahari telah sepenuhnya menghilang di bawah ufuk barat (Aripin, 2020).

**A. Formulasi Ketinggian (Altitude) Magrib Terkalibrasi** Sebagaimana telah dideduksi secara optik pada Bab 3, algoritma komputasi kontemporer tidak dapat memproses Magrib dengan Ketinggian Matahari ( $h$ ) bernilai 0 derajat. Jika  $h = 0$  diaplikasikan, maka sistem hanya menghitung terbenamnya "titik pusat" matahari secara matematis tanpa memperhitungkan pembelokan cahaya oleh atmosfer (refraksi) dan ukuran fisik matahari itu sendiri (semi-diameter).

Pada arsitektur KHGT Times V7.3, pemodelan terbenamnya matahari direkayasa dengan menetapkan target *Altitude* bernilai absolut negatif. Parameter standar yang dieksekusi secara universal diformulasikan sebagai:

$$h_{\text{magrib}} = -(\text{Refraksi}_{\text{Horizon}} + \text{Semi}_{\text{Diameter}})$$

Dengan asumsi refraksi pada horizon rata-rata adalah 34 menit busur dan semi-diameter matahari adalah 16 menit busur, maka:  $h_{\text{magrib}} = -(50 \text{ menit busur}) = -0.8333$  derajat.

Apabila pengamat berada pada ketinggian tertentu di atas permukaan laut (elevasi), ufuk sejati akan mengalami penurunan (*dip of the horizon*). Maka persamaan dinamis yang dikomputasi oleh perangkat lunak menjadi:

$$h_{\text{magrib\_dinamis}} = -(0.8333 \text{ derajat} + 1.76 * \text{akar}(\text{Elevasi}_{\text{dalam\_meter}}) \text{ menit busur})$$

**B. Dekonstruksi Algoritma: Menghitung Sudut Jam (H) untuk Magrib** Setelah target Ketinggian  $h_{\text{magrib}}$  ditetapkan, mesin komputasi menyubstitusikan nilai ini bersama dengan Lintang lokasi pengamat dan Deklinasi Matahari pada hari tersebut ke dalam persamaan Sudut Jam:

$$H_{\text{magrib}} = \arccos \left( (\sin(h_{\text{magrib}}) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})) / (\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})) \right)$$

Nilai  $H$  yang dihasilkan adalah jarak sudut (dalam derajat) dari meridian lokal menuju titik terbenam di barat. Karena ini adalah waktu setelah *zawal*, nilai  $H$  tersebut dikonversi menjadi satuan waktu (dibagi 15) dan ditambahkan ke Waktu Transit.

$$\text{Waktu Magrib Astronomis} = \text{Waktu Transit} + (H_{\text{magrib}} / 15)$$

Namun, sama halnya dengan waktu Zuhur, otoritas fikih menerapkan *Ihtiyat* (margin kehati-hatian) sekitar 2 menit untuk Magrib. Penambahan ini merupakan kompensasi terhadap anomali indeks bias atmosfer (refraksi lokal) yang dapat berubah secara tak terduga akibat fluktuasi tekanan

udara dan suhu di ufuk barat, memastikan bahwa bagi orang yang berpuasa, piringan matahari secara hakiki telah lenyap.

**C. Evaluasi Geometris pada Lintang Ekstrem (Midnight Sun)** Dalam pemrosesan *array* kalkulasi pada aplikasi berbasis Python, algoritma `arccos` kembali bertindak sebagai filter empiris. Pada musim panas di wilayah lingkaran kutub (seperti Tromsø di Norwegia dengan Lintang 69 derajat Utara), nilai Deklinasi Matahari dapat mencapai +23.4 derajat. Ketika nilai ini dievaluasi terhadap `h_magrib` (-0.8333 derajat), nilai rasio pembilang dan penyebut di dalam fungsi `arccos` menjadi lebih besar dari 1.

Kondisi ini memicu *Math Domain Error* (NaN), yang secara fisis memvalidasi fenomena *Midnight Sun* (Matahari Tengah Malam), di mana piringan atas matahari tidak pernah menyentuh ufuk barat selama 24 jam. Pada arsitektur KHGT, deteksi *error* ini langsung menginstruksikan modul untuk mengadopsi resolusi lintang ekstrem (misalnya *Aqrab al-Balad*), menjaga kontinuitas waktu ibadah tanpa terjadi sistem *crash*.

Sintesis komputasi Zuhur, Asar, dan Magrib yang diuraikan pada Bab 4 ini membuktikan bahwa perangkat lunak KHGT Times bukan sekadar *timer* mekanis. Ia adalah replika digital dari geometri benda langit yang mengakomodasi kerumitan optik bumi dan ketegasan doktrin *Maqashid Syariah*, meletakkan pijakan yang kokoh sebelum kita memasuki perhitungan zona senja astronomis pada waktu Isya dan Subuh.

## DAFTAR PUSTAKA BAB 4

- Al-Ammari, A., & Ahmad, N. (2012). Mathematical formulation of Islamic prayer times. *Journal of Applied Sciences*, 12(15), 1604-1608.
- Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.
- Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.
- Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.
- Kamali, M. H. (2003). *Principles of Islamic Jurisprudence*. Cambridge: Islamic Texts Society.
- Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.
- Yallop, B. D. (1997). *A Method for Predicting the Sighting of the New Crescent Moon*. Cambridge: HM Nautical Almanac Office.

## BAB 5: DINAMIKA SENJA ASTRONOMIS: ISYA DAN SUBUH

### 5.1. Definisi Fisik dan Optik Syafak Merah dan Fajar Shadiq

Transisi malam dan siang tidak terjadi secara instan bagaikan mematikan sakelar lampu. Keberadaan atmosfer Bumi menciptakan zona transisi iluminasi yang dikenal dalam astronomi sebagai senja (*twilight*). Dalam rentang waktu ini, Matahari secara geometris telah berada di bawah ufuk (horizon), namun sebagian pancaran fotonnya masih mampu mencapai pengamat di permukaan Bumi melalui mekanisme pembiasan dan hamburan atmosferik. Fikih Islam menjadikan gradasi optik dari fase senja ini sebagai parameter mutlak bagi penentuan dua waktu salat malam: Isya dan Subuh.

Al-Qur'an mendeskripsikan fenomena awal fajar dengan perumpamaan visual yang sangat presisi pada masanya, sebagaimana firman Allah SWT:

وَكُلُوا وَاشْرَبُوا حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَكُمُ الْخَيْطُ الْأَبْيَضُ مِنَ الْخَيْطِ الْأَسْوَدِ مِنَ الْفَجْرِ

Artinya: "Dan makan minumlah hingga terang bagimu benang putih dari benang hitam, yaitu fajar." (QS. Al-Baqarah: 187).

Teks *Bayani* berupa "benang putih" dan "benang hitam" ini menuntut deduksi *Burhani* (analisis saintifik) yang mendalam untuk dapat dikonversi menjadi algoritma komputasi pada sistem Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT). Untuk memodelkan jadwal Isya dan Subuh secara matematis, sains komputasi harus terlebih dahulu mendekonstruksi anatomi fisik dari dua fenomena tersebut: *Syafak Ahmar* dan *Fajar Shadiq*.

**A. Optika Atmosferik Syafak Ahmar (Senja/Isya)** *Syafak* adalah pendaran cahaya di ufuk barat pasca terbenamnya piringan Matahari (Magrib). Hukum fisika yang mengendalikan fenomena ini adalah Hamburan Rayleigh (*Rayleigh Scattering*), yang dirumuskan oleh fisikawan Lord Rayleigh. Hamburan ini terjadi ketika cahaya Matahari berinteraksi dengan molekul gas di atmosfer (terutama nitrogen dan oksigen) yang memiliki ukuran jauh lebih kecil dari panjang gelombang cahaya itu sendiri.

Intensitas hamburan berbanding terbalik dengan pangkat empat panjang gelombang. Artinya, gelombang cahaya pendek (biru dan ungu) dihamburkan jauh lebih kuat ke segala arah di atmosfer atas, sementara gelombang cahaya panjang (merah, jingga, kuning) mampu menembus lapisan atmosfer bawah yang lebih padat dan tebal tanpa banyak terhambur. Ketika Matahari terus turun menjauhi ufuk ke sudut depresi yang lebih dalam, spektrum warna kuning dan jingga mulai meredup, menyisakan spektrum merah sebagai cahaya terakhir yang mendominasi ufuk barat. Inilah yang disebut *Syafak Ahmar* (mega merah).

Jumhur ulama menetapkan bahwa masuknya waktu Isya ditandai dengan *ghiyab asy-syafak* (hilangnya mega merah tersebut) sehingga ufuk barat menjadi kelam seutuhnya. Secara fisik, momen ini menandai berakhirnya tahap awal dari *Astronomical Twilight* (Senja Astronomis), di

mana iluminasi Matahari di atmosfer atas tidak lagi cukup kuat untuk ditangkap oleh ambang batas penglihatan mata manusia (*human visual threshold*).

**B. Astrofisika Fajar Shadiq dan Fajar Kadzib (Fajar/Subuh)** Di ufuk timur, proses optik yang sama terjadi dalam urutan terbalik. Namun, identifikasi waktu Subuh memiliki kompleksitas ekstra karena adanya fenomena *Fajar Kadzib* (fajar palsu) yang kerap menggecoh pengamatan visual sebelum munculnya *Fajar Shadiq* (fajar sejati/benang putih).

*Fajar Kadzib* tidak memiliki korelasi dengan atmosfer Bumi maupun waktu salat. Secara astrofisika, fenomena ini dikenal sebagai *Cahaya Zodiak (Zodiacal Light)*. Cahaya ini adalah pantulan sinar Matahari oleh partikel debu kosmik interplanetar yang terkonsentrasi di sepanjang bidang ekliptika (orbit tata surya). Karena sifatnya yang mengikuti garis ekliptika, *Fajar Kadzib* tampak secara visual berupa pilar cahaya redup yang memanjang vertikal dari ufuk ke atas langit (seperti ekor serigala). Cahaya ini tidak menyebar menyusuri cakrawala.

Sebaliknya, *Fajar Shadiq* adalah manifestasi optik murni dari hamburan atmosferik Bumi. Saat Matahari secara perlahan naik dari dasar nadir namun masih berada di bawah horizon, sinar awalnya mulai menabrak lapisan stratosfer dan mesosfer. Karena refraksi dan hamburan partikel udara, cahaya ini tersebar merata secara horizontal menyusuri garis ufuk timur. Kemunculan bentangan cahaya putih horizontal inilah yang merobek "benang hitam" malam.

**C. Kebutuhan Kuantifikasi Menuju Parameter Dinamis** Pemahaman fisik ini membawa kita pada sebuah konklusi empiris: Syafak Ahmar dan Fajar Shadiq bukanlah benda padat, melainkan ilusi optik yang sangat bergantung pada kondisi atmosferik lokal (suhu, tekanan, kelembapan), tingkat polusi udara (aerosol), dan polusi cahaya buatan (*sky glow*). Jika penentuan Isya dan Subuh di era modern dibiarkan sepenuhnya bergantung pada observasi mata telanjang, maka akan terjadi kekacauan administratif akibat bias subjektivitas pengamat.

Oleh karena itu, arsitektur astrometri modern mengeleminasi subjektivitas optik ini dengan mengkuantifikasinya ke dalam satu parameter geometris yang absolut: **Sudut Depresi Matahari (Solar Depression Angle)**. Sistem algoritma KHGT Times V7.3 tidak mendeteksi warna merah atau putih di langit, melainkan mengkalkulasi kapan titik pusat piringan Matahari mencapai kedalaman sudut negatif tertentu (misalnya  $-18^\circ$  atau  $-20^\circ$ ) di bawah ufuk sejati. Kuantifikasi ini memastikan presisi waktu yang konsisten, berulang, dan kebal terhadap ilusi optik maupun cuaca buruk, yang akan dikupas secara mendalam pada analisis standar global di sub-bab selanjutnya.

## 5.2. Sudut Depresi Matahari: Tinjauan Historis dan Standar Global (Kemenag RI, MWL, ISNA, Umm al-Qura)

Transformasi dari observasi visual menuju komputasi matematis menuntut adanya konversi kriteria kualitatif (*fajar shadiq* dan *syafak*) menjadi variabel kuantitatif yang definitif. Dalam astronomi sferis, variabel ini disebut sebagai Sudut Depresi Matahari (*Solar Depression Angle*), yakni jarak sudut titik pusat piringan Matahari diukur ke bawah dari ufuk geometris pengamat. Nilainya diekspresikan sebagai Ketinggian Matahari ( $h$ ) bernilai absolut negatif.

Perbedaan ketebalan atmosfer, tingkat kelembapan udara, dan posisi lintang geografis di berbagai belahan bumi menyebabkan fajar dan senja merespons iluminasi Matahari dengan cara yang tidak identik. Hal ini melahirkan keragaman standar komputasi di tingkat global, yang meskipun tampak berbeda secara numerik, sejatinya merupakan ijtihad astronomis yang sah dalam mengakomodasi realitas geografis lokal.

**A. Tinjauan Historis: Konsensus Astronom Klasik** Jauh sebelum era komputasi digital, para ilmuwan Muslim abad pertengahan telah melakukan observasi empiris yang sangat ekstensif mengenai batas-batas optik dari fajar dan senja. Ilmuwan seperti Al-Biruni (w. 1048 M) dalam karyanya *Al-Qanun Al-Mas'udi*, serta Ibnu asy-Syatir (w. 1375 M), secara konsisten menemukan bahwa fajar shadiq dan hilangnya mega merah terjadi ketika Matahari berada pada kedalaman 18 derajat di bawah ufuk.

Nilai -18 derajat ini kemudian menjadi semacam *baseline* (garis dasar) historis. Secara astrofisika modern, angka ini terbukti sangat akurat; ia ekuivalen dengan batas akhir dari *Astronomical Twilight* (Senja Astronomis), di mana hamburan cahaya Matahari tidak lagi memberikan kontribusi pada kecerlangan langit malam (*night sky brightness*).

**B. Pluralitas Standar Global di Era Modern** Memasuki abad ke-20, ketika umat Islam tersebar dari ekuator hingga wilayah lingkaran kutub, parameter tunggal -18 derajat mulai diuji oleh variasi kondisi atmosfer. Otoritas fikih dan astronomi di berbagai negara melakukan observasi ulang dan menetapkan standar operasional masing-masing untuk aplikasi komputasi:

**1. Kementerian Agama Republik Indonesia (Kemenag RI)** Sebagai wilayah tropis kepulauan dengan kelembapan udara yang sangat tinggi dan paparan aerosol ekuatorial, atmosfer Indonesia cenderung lebih tebal dan menghamburkan cahaya lebih awal di pagi hari. Secara tradisional, Kemenag RI menggunakan parameter:

- Subuh: -20 derajat
- Isya: -18 derajat

Parameter Subuh -20 derajat ini didasarkan pada observasi awal abad ke-20 di Nusantara. Namun, dalam diskursus kontemporer, angka ini mengalami tinjauan ulang kritis. Organisasi seperti Muhammadiyah, melalui Majelis Tarjih, telah melakukan koreksi komputasi berdasarkan riset fotometrik modern (seperti menggunakan instrumen *Sky Quality Meter*) dan merevisi awal waktu Subuh menjadi -18 derajat. Sistem Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) memfasilitasi dinamika ijtihad ini dengan menyediakan konfigurasi dinamis yang tidak mengunci pengguna pada satu dogma angka mutlak.

**2. Muslim World League (MWL / Rabithah Alam Islami)** Standar ini banyak digunakan secara *default* oleh berbagai perangkat lunak komputasi di Eropa, Timur Tengah, dan sebagian Asia. Parameter yang digunakan adalah:

- Subuh: -18 derajat
- Isya: -17 derajat

Penggunaan -17 derajat untuk Isya memberikan kelonggaran waktu (*rukshah*) di wilayah lintang menengah, mencegah waktu Isya masuk terlalu larut malam pada musim panas.

**3. Islamic Society of North America (ISNA)** Di wilayah Amerika Utara yang sebagian besar berada di lintang tinggi (seperti Kanada dan AS bagian utara), penggunaan -18 derajat akan menyebabkan rentang waktu malam menjadi sangat sempit di musim panas, atau bahkan sistem komputasi mengalami *Math Domain Error*. Oleh karena itu, ISNA menetapkan standar yang lebih dangkal:

- Subuh: -15 derajat
- Isya: -15 derajat

Parameter ini ekuivalen dengan *Nautical Twilight* (Senja Nautika). Secara fikih, ini adalah kompromi administratif untuk menghindari kondisi di mana masyarakat kesulitan beristirahat karena waktu malam yang terlampau singkat (*masyaqqah*).

**4. Universitas Umm al-Qura (Makkah, Arab Saudi)** Standar Umm al-Qura memiliki arsitektur komputasi yang paling unik karena ia tidak menggunakan sudut depresi untuk waktu Isya, melainkan interval waktu statis (*fixed time offset*):

- Subuh: -18.5 derajat (sebelumnya -19 derajat)
- Isya: Magrib + 90 menit (menjadi Magrib + 120 menit pada bulan Ramadan).

Metode interval waktu untuk Isya ini dirancang murni untuk kemudahan administratif pengaturan jamaah di Masjidil Haram dan Masjid Nabawi, dan tidak merepresentasikan kejadian fisis hilangnya *syafak ahmar* secara astronomis.

**C. Resolusi Algoritmis pada KHGT Times V7.3** Keragaman standar global di atas sering kali dilihat oleh masyarakat awam sebagai bentuk perpecahan umat. Namun, melalui arsitektur komputasi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) yang tertanam dalam aplikasi seperti KHGT Times V7.3, keragaman ini dikelola sebagai variabel *input*.

Mesin algoritma tidak memihak pada satu otoritas, melainkan meletakkan persamaan Ketinggian Matahari ( $h = -\text{Sudut Depresi}$ ) sebagai parameter dinamis yang dapat disesuaikan. Jika pengguna menyetel aplikasi pada standar ISNA, maka mesin Python akan secara *real-time* mensubstitusikan nilai  $h_{\text{isya}} = -15$  derajat ke dalam persamaan inversi kosinus Sudut Jam ( $H$ ).

Kelenturan komputasi inilah yang menjaga universalitas syariat. KHGT memastikan bahwa meskipun umat berjihad menggunakan angka kedalaman fajar yang berbeda-beda, landasan trigonometri bola dan persamaan mekanika waktu yang digunakan tetap berakar pada satu standar astrometri yang tidak dapat digoyahkan.

### 5.3. Pemodelan Matematis Ketinggian Absolut Negatif

Pemodelan waktu salat malam (Isya dan Subuh) menuntut pergeseran paradigma trigonometri dari zona Ketinggian Matahari (Altitude/h) bernilai positif menuju zona Ketinggian Absolut Negatif.

Berbeda dengan Zuhur dan Asar di mana Matahari secara fisik bersinar di atas ufuk, Isya dan Subuh terjadi di dalam area bayang-bayang Bumi (umbrae/penumbrae atmosferik), di mana piringan Matahari tidak terlihat sama sekali.

Transisi yang tersembunyi namun eksak ini merepresentasikan ketelitian desain mekanika kosmik, sebagaimana tersirat dalam firman Allah SWT:

يُغْشِي اللَّيْلَ النَّهَارَ يَطْلُبُهُ حَثِيثًا

Artinya: "...Dia menutupkan malam kepada siang yang mengikutinya dengan cepat..." (QS. Al-A'raf: 54).

Kata *yughsyi* (menutupkan) dalam tinjauan astrometri bukanlah proses seketika, melainkan proses gradual di mana piringan Matahari terus bergerak turun menembus Sudut Depresi tertentu. Untuk menerjemahkan "penutupan" ini ke dalam komputasi, perangkat lunak seperti KHGT Times V7.3 harus merumuskan persamaan yang mampu menghitung koordinat ruang pada nilai di bawah nol derajat.

**A. Formulasi Simetris Ketinggian Negatif** Secara konseptual, fajar shadiq (Subuh) dan hilangnya mega merah (Isya) bertindak sebagai dua batas cermin (simetris) terhadap titik Nadir (titik terendah Matahari di tengah malam). Jika Sudut Depresi standar yang digunakan adalah 18 derajat (seperti standar MWL atau ketetapan hisab Tarjih Muhammadiyah hasil koreksi fotometrik), maka variabel  $h$  ditetapkan sebagai Ketinggian Absolut Negatif:

$$h_{\text{isya}} = -18 \text{ derajat}, h_{\text{subuh}} = -18 \text{ derajat}$$

Keduanya menggunakan nilai  $h$  yang sama, dan karenanya akan menghasilkan Sudut Jam (H) yang sama besarnya. Perbedaannya hanya terletak pada proyeksi waktu terhadap garis meridian (Zawal):

- Waktu Isya = Waktu Zawal + (H / 15)
- Waktu Subuh = Waktu Zawal - (H / 15)

**B. Dekonstruksi Persamaan dan Limit Domain Kosinus** Mesin komputasi mengeksekusi target  $h$  negatif ini ke dalam persamaan fundamental trigonometri bola untuk mencari H (dalam derajat):

$$H = \arccos \left( \frac{\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})}{\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})} \right)$$

Analisis *Deep-Dive* secara matematis menunjukkan bahwa memasukkan nilai  $h$  negatif (seperti -18 derajat) akan memberikan tekanan ekstrem pada fungsi pembilang:  $\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})$ . Nilai dari  $\sin(-18 \text{ derajat})$  adalah bilangan negatif (sekitar -0.309).

Mari kita proyeksikan pada kondisi musim panas di belahan bumi utara, di mana seorang pengamat berada pada Lintang tinggi (misal Lintang = +55 derajat) dan Deklinasi Matahari juga bernilai positif tinggi (misal Deklinasi = +23 derajat). Pada kondisi ini, nilai  $\sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})$

$\sin(\text{Deklinasi})$  adalah positif. Maka pembilang persamaannya menjadi: (Sebuah bilangan negatif) - (Sebuah bilangan positif). Hasilnya adalah **bilangan yang sangat negatif**.

Jika pembilang ini dibagi dengan penyebut  $\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})$ , dan hasil bagi (rasio) tersebut bernilai lebih kecil dari -1 (misalnya -1.05), maka terjadilah anomali matematis. Fungsi *arccos* secara matematis tidak memiliki definisi (undefined) untuk rentang nilai di bawah -1. Sistem bahasa pemrograman Python yang digunakan oleh KHGT Times akan menghasilkan status `Math Domain Error` (atau `Not a Number / NaN`).

**C. Signifikansi Fisis dari Math Domain Error** Dalam komputasi konvensional, galat ini sering dianggap sebagai *bug* program. Namun, dalam ekosistem astrometri KHGT, galat ini justru merupakan **pembuktian empiris** dari kebenaran sains fisika: Matahari secara fisis tidak pernah mencapai kedalaman -18 derajat pada hari tersebut di lokasi tersebut.

Alih-alih tenggelam hingga  $h = -18$  derajat, Matahari mungkin hanya turun hingga  $h = -12$  derajat di tengah malam, lalu mulai naik kembali. Karena tidak pernah mencapai -18 derajat, maka "hilangnya syafak ahmar" secara optik atmosferik tidak pernah terjadi. Senja (Isya) di ufuk barat perlahan bergerak menyusuri cakrawala utara dan bersambung langsung menjadi fajar (Subuh) di ufuk timur. Fenomena ini disebut sebagai *White Nights* (Malam Putih) atau Senja Bersambung Fajar.

Pemodelan Ketinggian Absolut Negatif ini sangat krusial karena ia bertindak sebagai sensor prediktif. Sebelum sistem gagal dan memberikan jadwal yang salah kepada jamaah (misalnya memberikan waktu yang *random*), modul komputasi akan melakukan deteksi limit:

- Jika Rasio  $> 1$  : Matahari tidak pernah naik (Malam Kutub / *Polar Night*).
- Jika Rasio  $< -1$  : Matahari tidak pernah turun ke batas depresi (Siang Kutub atau *White Nights*).

Melalui pemodelan matematis Ketinggian Absolut Negatif inilah, komputasi waktu Isya dan Subuh tidak lagi bergantung pada observasi manual yang mustahil dilakukan di wilayah anomali, melainkan diambil alih oleh presisi kalkulasi geometri bola. Pemodelan ini secara langsung membuka pintu bagi implementasi resolusi fikih otomatis (metode lintang ekstrem) yang akan kita bahas pada sub-bab penutup Bab 5.

## 5.4. Sensitivitas Perubahan Sudut Depresi terhadap Waktu Aktual di Berbagai Lintang

Perdebatan mengenai standar Sudut Depresi Matahari—sebagaimana diuraikan pada sub-bab sebelumnya (antara -15 derajat, -18 derajat, hingga -20 derajat)—sering kali dipahami secara keliru oleh masyarakat awam sebagai sekadar "perbedaan beberapa derajat yang tidak signifikan". Namun, dalam arsitektur komputasi astrometri, perubahan 1 derajat pada sudut geometris dapat teramplifikasi menjadi perbedaan durasi waktu yang sangat ekstrem, bergantung pada lokasi geografis pengamat.

Ketelitian (presisi) matematis yang mengikat alam semesta ini merupakan manifestasi dari ketetapan Allah SWT yang diukur secara sempurna, sebagaimana ditegaskan dalam firman-Nya:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ

Artinya: "Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran." (QS. Al-Qamar: 49).

Kata *qadar* (ukuran/ketetapan) dalam tinjauan sains falak menuntut pemahaman tentang *Rate of Change* (laju perubahan). Sensitivitas waktu aktual terhadap perubahan Ketinggian Matahari tidak bersifat konstan di seluruh permukaan Bumi. Fenomena ini diatur oleh interaksi trigonometri antara Lintang (Latitude) dan Deklinasi Matahari.

**A. Analisis Laju Perubahan Waktu (Rate of Change)** Secara fisis, sensitivitas ini merepresentasikan berapa menit waktu yang dibutuhkan oleh Matahari untuk turun (atau naik) sejauh 1 derajat di bawah ufuk. Dalam kalkulus trigonometri bola, turunan parsial dari Sudut Jam (H) terhadap Ketinggian Matahari (h) dirumuskan dengan aproksimasi diferensial:

$$\Delta H = \Delta h / (\cos(\text{Lintang}) * \sin(\text{Azimut}))$$

Persamaan ini mendemonstrasikan bahwa perubahan waktu ( $\Delta H$ ) berbanding terbalik dengan nilai kosinus Lintang geografis pengamat. Berdasarkan sifat fungsi trigonometri, semakin besar nilai Lintang (semakin dekat ke kutub), nilai  $\cos(\text{Lintang})$  akan semakin mendekati nol. Pembagian dengan bilangan yang semakin kecil akan menghasilkan nilai hasil bagi ( $\Delta H$ ) yang eksponensial menjadi sangat besar.

**B. Komparasi Ekuator vs. Lintang Tinggi** Untuk memahami implikasi komputasional dari persamaan tersebut, kita dapat melakukan komparasi antara dua wilayah dengan lintang yang berbeda menggunakan selisih 2 derajat pada parameter Subuh (misalnya, perbedaan antara standar -18 derajat dan -20 derajat):

1. **Wilayah Ekuatorial (Contoh: Pontianak, Lintang 0 derajat)** Di daerah khatulistiwa, lintasan orbit semu harian Matahari memotong ufuk secara hampir tegak lurus (vertikal). Karena lintasan yang curam ini, Matahari menembus lapisan-lapisan kedalaman horizon dengan sangat cepat. Berdasarkan komputasi, waktu yang dibutuhkan untuk turun dari -18 derajat ke -20 derajat (selisih 2 derajat) di Pontianak secara rata-rata hanyalah sekitar **8 hingga 9 menit**. Perbedaan standar fikih di wilayah tropis tidak menimbulkan *masyaqqah* (kesulitan) yang radikal.
2. **Wilayah Lintang Menengah/Tinggi (Contoh: London, Lintang 51.5 derajat Utara)** Di lintang tinggi, lintasan orbit semu Matahari memotong ufuk dengan sudut yang sangat landai (miring). Matahari "meluncur" menyusuri ufuk secara horizontal lebih lama daripada turun secara vertikal. Pada ekuinoks musim semi, selisih 2 derajat yang sama (antara -18 ke -20) dapat memakan waktu **15 hingga 20 menit**. Lebih ekstrem lagi, pada saat mendekati musim panas (ketika Deklinasi Matahari bernilai positif tinggi), lintasan ini menjadi sangat dangkal. Perbedaan antara kriteria ISNA (-15 derajat) dan MWL (-18 derajat) yang selisihnya hanya 3 derajat, dapat menghasilkan perbedaan waktu Isya dan

Subuh hingga **lebih dari 1 jam**, atau bahkan berujung pada kegagalan komputasi (*Math Domain Error*) jika kedalaman target tidak pernah tercapai (Odegaard, 2007).

**C. Implikasi bagi Arsitektur KHGT Times V7.3** Sensitivitas yang asimetris inilah yang menjadi alasan utama mengapa Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) tidak dapat dipaksakan beroperasi pada satu angka baku secara membabi buta tanpa meninjau topologi lintang. Arsitektur komputasi yang dibangun dalam sistem berbasis Python pada KHGT Times mengakomodasi sensitivitas ini melalui algoritma dinamis.

Perangkat lunak KHGT Times memungkinkan administrator lokal di wilayah Skandinavia, misalnya, untuk melakukan *tweak* (penyesuaian halus) pada parameter sudut depresi. Jika sistem mendeteksi sensitivitas yang menyebabkan jeda waktu antara Magrib dan Isya meledak menjadi 3 jam lamanya (akibat lintasan landai), sistem dapat memberikan rekomendasi logis kepada pengguna untuk beralih ke kriteria *Aqrab al-Ayyam* (metode proporsi) atau sudut modifikasi yang menjaga proporsionalitas *day-night cycle* bagi umat Islam.

Pemodelan fajar dan syafak tidak hanya sekadar bermain dengan fungsi inversi kosinus, melainkan menuntut pemahaman atas geometri lintasan celestial yang melengkung dan landai. Penyelesaian atas anomali sensitivitas inilah yang mengokohkan sains komputasi sebagai penerjemah teks-teks syariat (*Bayani*) yang paling adaptif dan rasional (*Burhani*) untuk diaplikasikan di seluruh penjuru dunia.

---

## DAFTAR PUSTAKA BAB 5

- Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.
- Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.
- Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.
- Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.
- Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah. (2020). *Pedoman Hisab Muhammadiyah: Evaluasi Awal Waktu Subuh*. Yogyakarta: Suara Muhammadiyah.
- Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.
- Odegaard, K. J. (2007). *Islamic Prayer Times at High Latitudes*. Oslo: University of Oslo (Institute of Theoretical Astrophysics).
- Roorda, P. (2008). The physics of twilight and its modeling for computational astrometry. *Journal of Atmospheric Optics*, 21(4), 211-218.

## BAB 6: RESOLUSI ALGORITMIS UNTUK ANOMALI LINTANG EKSTREM (HIGH LATITUDES)

### 6.1. Karakteristik Geometris Lintang di atas 48° pada Musim Panas (Gagalnya Fungsi Arccos)

Sistem penentuan waktu ibadah yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya beroperasi secara ideal pada kondisi geografis yang normal (lintang rendah hingga menengah). Di wilayah tersebut, siklus pergantian siang dan malam terjadi secara ekuilibrium dan konstan setiap harinya. Keteraturan siklus ini merupakan salah satu tanda kebesaran Allah SWT yang digambarkan secara dinamis dalam Al-Qur'an:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يُولِجُ اللَّيْلَ فِي النَّهَارِ وَيُؤَلِّجُ النَّهَارَ فِي اللَّيْلِ وَسَخَّرَ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ يَجْرِي إِلَىٰ أَجَلٍ مُّسَمًّى

*Artinya: "Tidakkah kamu memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah memasukkan malam ke dalam siang dan memasukkan siang ke dalam malam dan Dia tundukkan matahari dan bulan masing-masing berjalan sampai kepada waktu yang ditentukan..." (QS. Luqman: 29).*

Fenomena *yuliju* (memasukkan/menyisipkan) ini mengisyaratkan sebuah transisi optik-geometris yang berkesinambungan. Namun, dalam komputasi astrometri global, konsep "memasukkan malam ke siang" menemukan tantangan matematis terberatnya ketika dihadapkan pada wilayah lintang ekstrem (*high latitudes*). Secara astronomis, wilayah yang mengalami anomali waktu salat malam (Isya dan Subuh) dimulai pada Lintang 48,5 derajat (Utara maupun Selatan). Untuk memahami mengapa wilayah di atas batas ini memicu kegagalan sistemik pada algoritma konvensional, kita harus membedah karakteristik geometris dan limitasi fungsi trigonometri bola yang bekerja di baliknya.

**A. Anatomi Geometris Lintang 48° dan Deklinasi Ekstrem** Batas 48,5 derajat bukanlah angka arbitrer, melainkan hasil reduksi dari relasi absolut antara kemiringan sumbu Bumi (oblikuitas ekliptika), Sudut Depresi fajar/senja, dan koordinat Zenit pengamat.

Matahari mencapai titik Deklinasi maksimumnya pada saat fenomena Titik Balik Musim Panas (*Summer Solstice*), yakni sekitar +23,44 derajat di Utara pada bulan Juni, dan -23,44 derajat di Selatan pada bulan Desember. Pada puncak musim panas di belahan bumi utara, Matahari tidak pernah benar-benar tenggelam jauh dari ufuk. Jarak Ketinggian minimum Matahari ( $h_{\min}$ ) pada tengah malam hari di suatu lokasi dapat dikalkulasi secara pasti dengan persamaan linier batas:

$h_{\min} = \text{Deklinasi} - 90 \text{ derajat} + \text{Lintang}$  (*Persamaan ini berlaku untuk Lintang dan Deklinasi pada belahan bumi yang sama*)

Sebagai studi kasus, mari kita proyeksikan perhitungan pada dua kota:

1. **Semarang (Lintang = -7 derajat / Selatan):** Karena terletak di ekuator,  $h_{\min}$  Matahari di tengah malam akan selalu berada sangat dalam (lebih dari -60 derajat), sehingga seluruh fase malam (Magrib, Isya, dan fajar Subuh) terjadi secara normal sepanjang tahun.
2. **Paris (Lintang = 48,8 derajat Utara):** Pada tanggal 21 Juni (Deklinasi = +23,44 derajat).  $h_{\min} = 23,44 - 90 + 48,8 = -17,76$  derajat.

Nilai -17,76 derajat ini merupakan kedalaman *maksimal* yang dapat dicapai Matahari pada tengah malam di Paris pada puncak musim panas. Implikasi fisisnya sangat radikal: Matahari **tidak pernah mencapai kedalaman -18 derajat** (Sudut Depresi standar Isya dan Subuh). Akibatnya, mega merah (*syafak ahmar*) dari waktu Magrib tidak pernah benar-benar hilang hingga ia bersambung langsung menjadi cahaya fajar shadiq. Ufuk utara akan terus berpendar sepanjang malam, sebuah fenomena yang dikenal sebagai *White Nights* (Senja Bersambung Fajar).

**B. Gagalnya Fungsi Arccos (Math Domain Error)** Ketika anomali optik ini dipaksakan masuk ke dalam mesin algoritma standar tanpa adanya kerangka resolusi cerdas, ia akan menciptakan kolaps matematis. Inti dari komputasi *Prayer Times* adalah menghitung Sudut Jam (H) untuk menargetkan waktu masuknya salat:

$$H = \arccos \left( \frac{\sin(h) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Deklinasi})}{\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Deklinasi})} \right)$$

Mari kita masukkan target Isya standar ( $h = -18$  derajat) untuk pengamat di Paris (Lintang 48,8 derajat) pada bulan Juni (Deklinasi 23,44 derajat). Jika kita asumsikan (menggunakan hampiran pembulatan):  $\sin(-18 \text{ derajat}) = -0.3090$   $\sin(48,8) * \sin(23,44) = 0.7524 * 0.3977 = 0.2992$   
Pembilang =  $-0.3090 - 0.2992 = -0.6082$

$$\cos(48,8) * \cos(23,44) = 0.6586 * 0.9174 = 0.6042 \text{ Penyebut} = 0.6042$$

$$\text{Rasio (Nilai di dalam kurung arccos)} = \text{Pembilang} / \text{Penyebut} = -0.6082 / 0.6042 = -1.006$$

Dalam ilmu kalkulus dan trigonometri murni, domain (daerah asal) untuk fungsi balikan kosinus (*arccos*) dibatasi mutlak hanya pada himpunan bilangan riil antara -1 hingga 1. Karena rasio yang dihasilkan adalah -1.006 (lebih kecil dari -1), operasi matematika ini menjadi tidak terdefinisi (*undefined*).

Dalam arsitektur perangkat lunak yang menggunakan pustaka matematika standar seperti Python, eksekusi kode `math.acos(-1.006)` akan secara otomatis memicu pengecualian sistem berupa **ValueError: math domain error** (atau sering direpresentasikan sebagai status NaN - *Not a Number* pada *array* komputasi tingkat tinggi).

**C. Konsekuensi Fikih dan Perlunya Intervensi Sistem *Math Domain Error*** ini bukanlah sebuah "kerusakan" pada aplikasi, melainkan kejujuran absolut dari bahasa matematika. Komputer secara eksplisit menyatakan kepada penggunanya: "*Waktu salat yang Anda cari tidak eksis secara fisik pada ruang dan waktu ini.*"

Dalam pendekatan fikih klasik yang murni bersandar pada pendekatan *Bayani* (pembacaan teks harfiah), ketiadaan fenomena hilangnya *syafak* akan berimplikasi pada gugurnya kewajiban salat

Isya, atau mengharuskan jamaah menunggu hingga fajar, yang berujung pada kebingungan masif (*masyaqqah*). Namun, melalui integrasi kecerdasan komputasi dalam Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT), algoritma merespons *error* ini bukan dengan menampilkan "Jadwal Kosong" (*blank time*), melainkan dengan mengaktifkan mode *exception handling* (penanganan pengecualian).

Aplikasi KHGT Times V7.3 secara spesifik didesain untuk mendeteksi rasio *out-of-bounds* ini secara *real-time*. Begitu terdeteksi rasio  $< -1$  untuk Isya/Subuh, atau Rasio  $> 1$  untuk Zuhur/Magrib (fenomena Siang Kutub/Malam Kutub di Lintang  $> 66,5$  derajat), sistem langsung mem-*bypass* perhitungan kosinus dan beralih menggunakan Metode Resolusi Lintang Ekstrem (High Latitude Methods). Kemampuan rekayasa perangkat lunak dalam menerjemahkan krisis astronomis menjadi jadwal salat prediktif inilah yang membuktikan universalitas syariat Islam melampaui sekat-sekat geografis.

## 6.2. Evaluasi Metode Aqrab al-Balad (Nearest Latitude)

Ketika arsitektur komputasi menemui jalan buntu akibat limitasi *Math Domain Error* pada lintang ekstrem, fikih Islam menawarkan pintu keluar melalui prinsip *Taqdir* (estimasi atau perkiraan proporsional). Landasan teologis utama bagi resolusi lintang ekstrem bersumber dari Hadis An-Nawwas bin Sam'an radhiyallahu 'anhu mengenai masa kemunculan Dajjal, di mana siklus siang dan malam mengalami anomali ekstrem (satu hari terasa seperti setahun, sebulan, atau sepekan). Para sahabat bertanya bagaimana cara melaksanakan salat pada hari-hari panjang tersebut. Rasulullah SAW menjawab dengan sebuah kaidah algoritmis universal:

أَقْدُرُوا لَهُ قَدْرَهُ

*Artinya: "Perkirakanlah ukurannya (waktunya) dengan sebenar-benarnya." (HR. Muslim).*

Perintah *uqduuru* (buatlah perkiraan/takaran) melegitimasi penggunaan metode substitusi ketika parameter fisis alam (seperti hilangnya mega merah) tidak lagi dapat diobservasi. Salah satu metode tertua dan paling dihormati dalam diskursus fikih astronomi kontemporer untuk mengeksekusi perintah *uqduuru* ini adalah metode **Aqrab al-Balad** (Lintang Terdekat / *Nearest Latitude*).

**A. Konstruksi Konseptual Aqrab al-Balad** Metode *Aqrab al-Balad* beroperasi pada asumsi geografis yang logis: jika sebuah wilayah (misalnya Oslo di Lintang 59 derajat Utara) kehilangan malam astronomisnya pada musim panas, maka pengamat di wilayah tersebut harus meminjam atau merujuk pada interval waktu salat dari daerah "normal" terdekat yang masih mengalami siklus malam secara sempurna.

Secara historis, daerah batas normal (*boundary of normality*) sering ditetapkan pada Lintang 45 derajat (baik Utara maupun Selatan) atau 48 derajat, yang merepresentasikan batas lintang menengah sebelum memasuki zona sub-arktik. Logika fikih di balik pemilihan ini adalah *Qiyas* (analogi): wilayah anomali dianalogikan dengan wilayah normal yang berada pada garis bujur yang berdekatan atau sama.

**B. Mekanisme Algoritma Komputasi dalam KHGT Times** Dalam arsitektur perangkat lunak komputasi seperti KHGT Times V7.3, metode ini tidak dieksekusi dengan sekadar "menyalin-tempel" (copy-paste) waktu salat dari kota di Lintang 45. Hal tersebut akan menghasilkan jadwal yang rancu karena perbedaan zona waktu dan Waktu Transit (Zawal) antara wilayah asal dan wilayah referensi.

Oleh karena itu, algoritma menerjemahkan *Aqrab al-Balad* melalui ekstraksi **Interval Waktu Relatif**. Berikut adalah *Deep-Dive* langkah komputasinya:

1. **Deteksi Gagal (*Exception Catching*):** Mesin Python mendeteksi nilai  $Rasio < -1$  pada perhitungan Sudut Jam (H) untuk Isya di lokasi pengamat (misal Lintang 59 derajat).
2. **Kalkulasi Wilayah Referensi (*Virtual Computation*):** Sistem secara *background* menjalankan komputasi *dummy* (bayangan). Ia mempertahankan nilai Deklinasi Matahari pada hari tersebut, namun mengganti variabel `Lintang_Pengamat` menjadi `Lintang_Referensi` (misalnya 45 derajat).
3. **Ekstraksi Interval:** Sistem menghitung kapan Magrib dan Isya terjadi di Lintang 45 derajat tersebut. Kemudian ia mencari durasi selisihnya:  $Interval\_Isya = Waktu\_Isya\_45 - Waktu\_Magrib\_45$   $Interval\_Subuh = Waktu\_Syuruq\_45 - Waktu\_Subuh\_45$
4. **Proyeksi Lokal (*Local Projection*):** Interval yang didapatkan dari Lintang 45 derajat ini kemudian disuntikkan kembali ke jadwal lokal pengamat. Karena waktu Magrib lokal dan Syuruq lokal di Lintang 59 derajat masih dapat dihitung secara valid (Matahari masih terbenam dan terbit, hanya saja senjanya tidak hilang), maka:  $Waktu\_Isya\_Lokal = Waktu\_Magrib\_Lokal + Interval\_Isya$   $Waktu\_Subuh\_Lokal = Waktu\_Syuruq\_Lokal - Interval\_Subuh$

Dengan metode ini, jadwal Isya dan Subuh tetap memiliki korelasi struktural dengan terbenam dan terbitnya Matahari di wilayah pengamat, namun durasi tunggunya dipinjam dari wilayah normal terdekat.

**C. Evaluasi Kritis terhadap *Aqrab al-Balad*** Meskipun secara konseptual sangat kuat karena didukung oleh fatwa lembaga fikih internasional (seperti Al-Azhar di masa lampau), metode *Aqrab al-Balad* memiliki celah kerentanan astrometri yang harus dievaluasi secara kritis:

1. **Diskontinuitas Jadwal (*Schedule Jump*):** Kelemahan paling fatal dari metode ini terjadi pada masa transisi (peralihan musim). Pada hari ketika Matahari tepat mencapai batas gagal komputasi, sistem akan beralih dari perhitungan aktual (lokal) menuju perhitungan *Aqrab al-Balad*. Transisi mendadak ini sering kali memicu lonjakan jadwal (*time jump*). Misalnya, Isya pada tanggal 10 Mei masuk pukul 23:45 (berdasarkan perhitungan lokal murni), namun pada tanggal 11 Mei ketika *Math Domain Error* terpicu dan sistem meminjam interval Lintang 45, waktu Isya tiba-tiba "melompat" maju menjadi pukul 22:15. Lonjakan waktu yang diskret ini tidak selaras dengan kelancaran perubahan mekanika benda langit (Sunnatullah).
2. **Asumsi Keseragaman Interval:** Durasi senja di Lintang 45 derajat tidak sama dengan karakter senja di Lintang 59 derajat. Memaksakan interval dari lintang yang lebih rendah mengabaikan dinamika perlambatan gerak semu Matahari (seperti yang dijelaskan pada fungsi turunan *Rate of Change* di Bab 5).

Dalam upaya menyempurnakan kelemahan diskontinuitas ini, KHGT Times V7.3 menyediakan fungsionalitas algoritma perataan (*smoothing algorithm*) untuk menjembatani hari-hari transisi tersebut agar perubahan menit demi menit tetap proporsional. Namun, kelemahan inheren dari *Aqrab al-Balad* ini mendorong para pakar falak dan *computer scientist* untuk mencari model resolusi alternatif yang lebih mengakar pada dinamika waktu lokal, seperti metode *Aqrab al-Ayyam* (Hari Terdekat) yang akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

### 6.3. Evaluasi Metode *Aqrab al-Ayyam* (Nearest Day)

Kelemahan inheren berupa diskontinuitas jadwal (*schedule jump*) yang terdapat pada metode *Aqrab al-Balad* mendorong para pemikir fikih astronomi dan ilmuwan komputasi untuk merumuskan alternatif yang lebih stabil secara temporal. Jika *Aqrab al-Balad* mencari resolusi secara spasial (meminjam waktu dari lokasi geografis lain), maka metode ***Aqrab al-Ayyam*** (Hari Terdekat) menawarkan resolusi secara temporal: ia meminjam waktu dari hari kalender lain pada lokasi geografis yang sama persis.

Landasan epistemologis metode ini bersandar pada prinsip *Istishab* dalam *Ushul Fiqh*, yakni memberlakukan hukum yang telah ada di masa lampau selama belum ada dalil pasti yang mengubahnya, atau dalam konteks astrometri: mempertahankan parameter waktu ibadah yang normal dari hari-hari sebelum anomali itu terjadi. Hal ini sejalan dengan kaidah fikih:

الأصلُ بقاءُ ما كانَ على ما كانَ

*Artinya: "Hukum asal adalah tetapnya sesuatu pada kondisi sebelumnya."*

Dengan kaidah ini, ketika alam kehilangan tanda-tanda fisiknya (hilangnya syafak ahmar), kita merujuk kembali (*return*) pada rekam jejak alam di hari terakhir ia menunjukkan tanda fisis tersebut secara sempurna.

**A. Konstruksi Algoritmik Metode *Aqrab al-Ayyam*** Secara konseptual, *Aqrab al-Ayyam* beroperasi dengan mengunci interval waktu antara salat-salat di ufuk (Magrib/Syuruq) dengan salat malam (Isya/Subuh) pada hari terakhir hilangnya senja secara astronomis.

Mari kita ambil contoh kota London (Lintang 51.5 derajat Utara). Di London, pada pertengahan bulan Mei, Deklinasi Matahari mulai bernilai positif tinggi sedemikian rupa sehingga Ketinggian Matahari di tengah malam gagal mencapai batas -18 derajat (Sudut Depresi MWL). Misalnya, hari terakhir di mana komputasi Sudut Jam (H) untuk Ketinggian -18 derajat tidak menghasilkan *Math Domain Error* adalah tanggal 22 Mei. Mulai tanggal 23 Mei hingga pertengahan Juli, sistem mengalami *error*.

Berdasarkan metode *Aqrab al-Ayyam*, seluruh periode anomali (23 Mei hingga pertengahan Juli) akan menggunakan durasi senja astronomis yang tercatat pada tanggal 22 Mei (hari terdekat yang masih normal).

**B. Arsitektur Komputasi Iterasi Mundur (*Backward Iteration*)** Bagi sebuah aplikasi perangkat lunak seperti KHGT Times V7.3, metode ini menuntut kecerdasan komputasi yang lebih tinggi

dibandingkan *Aqrab al-Balad*, karena sistem tidak bisa hanya menggunakan tabel statis. Mesin Python harus melakukan penelusuran data historis secara *real-time* melalui algoritma iterasi mundur (*backward iteration*). Berikut adalah pemodelan *Deep-Dive* dari eksekusinya:

1. **Deteksi *Math Domain Error*:** Pada saat menghitung waktu Isya tanggal 21 Juni, sistem mengevaluasi rasio pembilang dan penyebut fungsi `arccos`. Ditemukan bahwa  $Rasio < -1$ .
2. **Inisiasi *Looping Pencarian Hari Valid*:** Sistem secara *background* menjalankan perintah iterasi (pengulangan) yang mengurangi tanggal perhitungan hari demi hari (hari - 1, hari - 2, dst).
3. **Validasi Limit Rasio:** Pada setiap pengurangan hari, sistem menghitung ulang Deklinasi Matahari historis dan mengevaluasi Rasionya. Iterasi ini akan terus berjalan hingga mesin menemukan hari di mana nilai  $Rasio \geq -1$ . Hari inilah yang dikukuhkan sebagai `Tanggal_Valid_Terakhir`.
4. **Ekstraksi Interval Dinamis:** Setelah `Tanggal_Valid_Terakhir` ditemukan (misalnya 22 Mei), sistem mengambil Waktu Magrib dan Waktu Isya murni pada tanggal tersebut, lalu menghitung interval absolutnya:  $Interval\_Isya\_Valid = Waktu\_Isya\_Valid - Waktu\_Magrib\_Valid$      $Interval\_Subuh\_Valid = Waktu\_Syuruq\_Valid - Waktu\_Subuh\_Valid$
5. **Aplikasi pada Hari Anomali:** Interval yang telah dikunci ini kemudian ditambahkan pada kalkulasi Magrib dan Syuruq pada hari anomali yang bersangkutan:  $Waktu\_Isya\_Hari\_Ini = Waktu\_Magrib\_Hari\_Ini + Interval\_Isya\_Valid$      $Waktu\_Subuh\_Hari\_Ini = Waktu\_Syuruq\_Hari\_Ini - Interval\_Subuh\_Valid$

**C. Evaluasi Kritis dan Batasan Matematis** Keunggulan utama dari metode *Aqrab al-Ayyam* adalah kemampuannya mempertahankan kontinuitas topologis. Jadwal salat tetap terkait erat dengan lokasi pengamat. Tidak ada "lonjakan waktu" yang tajam seperti pada *Aqrab al-Balad*, karena transisi dari jadwal normal menuju hari pertama anomali dijembatani oleh interval waktu yang identik. Pergeseran menit keesokan harinya hanya dipengaruhi oleh pergeseran waktu Magrib/Syuruq yang memang berubah secara sangat perlahan (*gradual*). Hal ini sangat merepresentasikan sinkronisasi dengan konsep Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT) yang mengutamakan keteraturan administratif tanpa menabrak hukum-hukum fisis yang berkelanjutan.

Namun, metode ini memiliki sebuah batasan fisis yang sering kali tidak disadari oleh para pembuat perangkat lunak konvensional. *Aqrab al-Ayyam* sangat bergantung pada validitas Waktu Magrib dan Waktu Syuruq pada hari anomali. Metode ini hanya beroperasi dengan sempurna di zona **Lintang Menengah-Tinggi (High Latitudes)** antara 48.5 derajat hingga 66.5 derajat, di mana Matahari masih tetap terbit dan terbenam (hanya syafak yang tidak hilang).

Kelemahan fatal terjadi ketika metode ini diterapkan secara buta pada zona **Lingkar Kutub Ekstrem (Extreme Polar Latitudes)** di atas 66.5 derajat (seperti Murmansk di Rusia atau Svalbard di Norwegia). Pada musim panas di zona ini, Matahari tidak hanya gagal mencapai kedalaman -18 derajat, tetapi ia bahkan gagal menyentuh horizon (-0.833 derajat). Terjadilah fenomena *Midnight Sun* (Matahari Tengah Malam) di mana Magrib dan Syuruq sama-sama tidak eksis (*Math Domain Error* terjadi pada semua waktu salat kecuali Zuhur).

Ketika Waktu Magrib hari ini bernilai NaN (Not a Number), maka arsitektur komputasi tidak memiliki basis penambah untuk formula:  $\text{Waktu\_Isya} = \text{NaN} + \text{Interval\_Isya\_Valid}$ . Hasilnya akan tetap NaN atau sistem mengalami *crash*.

Di sinilah letak superioritas *handling system* pada aplikasi astrometri tingkat lanjut. Modul *Prayer Times* pada KHGT Times V7.3 dirancang untuk mengenali batas ambang 66.5 derajat ini. Jika *error* komputasi telah menembus batas Magrib, sistem tidak lagi menggunakan *Aqrab al-Ayyam* proporsional berbasis ufuk, melainkan mengunci seluruh waktu salat berdasarkan *waktu jam absolut* (Absolute Clock Time) dari *Tanggal\_Valid\_Terakhir*, atau melakukan peralihan *fallback* otomatis menuju metode pembagian proporsional malam (seperti *Nisf al-Lail* atau *Sube' al-Lail*). Resolusi hibrida ini memastikan bahwa dalam kondisi kosmik separah apa pun, jadwal salat tidak akan pernah mengalami kevakuman (*null*).

#### 6.4. Evaluasi Metode Nisf al-Lail (Middle of the Night) dan Sube' al-Lail (1/7 of the Night)

Ketika metode proksimasi berbasis lintang (*Aqrab al-Balad*) atau hari (*Aqrab al-Ayyam*) dirasa terlalu kompleks atau menyebabkan lonjakan jadwal yang tidak diinginkan, dunia fikih dan komputasi menyediakan alternatif resolusi berbasis **Pembagian Malam Secara Proporsional**. Metode ini tidak mencari referensi dari ruang atau waktu lain, melainkan membedah durasi malam yang tersedia di lokasi tersebut menjadi beberapa fragmen waktu untuk menetapkan titik Isya dan Subuh.

Pendekatan ini selaras dengan semangat kemudahan syariat dalam menghadapi situasi darurat, sebagaimana firman Allah SWT:

يُرِيدُ اللَّهُ بِكُمُ الْيُسْرَ وَلَا يُرِيدُ بِكُمُ الْعُسْرَ

Artinya: "Allah menghendaki kemudahan bagimu, dan tidak menghendaki kesukaran bagimu." (QS. Al-Baqarah: 185).

Dalam arsitektur komputasi KHGT Times V7.3, metode pembagian proporsional ini diimplementasikan melalui dua algoritma utama: *Nisf al-Lail* dan *Sube' al-Lail*.

##### A. Metode Nisf al-Lail (Middle of the Night)

Metode ini adalah bentuk resolusi yang paling sederhana namun memiliki legitimasi fikih yang kuat. *Nisf al-Lail* menetapkan bahwa batas akhir waktu Magrib (sekaligus awal Isya) dan batas awal Subuh adalah titik tengah malam.

1. **Definisi Malam:** Dalam algoritma ini, "malam" didefinisikan sebagai durasi waktu dari terbenamnya Matahari (Magrib) hingga terbitnya Matahari (Syuruq/Subuh).
2. **Kalkulasi Titik Tengah:** Sistem menghitung total durasi malam (D), kemudian membaginya menjadi dua.

$$\text{\$Tengah\_Malam} = \text{Magrib} + (D / 2)\text{\$}$$

3. **Penetapan Jadwal:** Waktu Isya ditetapkan tepat pada titik tengah malam tersebut, dan waktu Subuh juga dimulai dari titik yang sama (atau sesaat setelahnya).

Meskipun secara astronomis Isya dan Subuh menjadi bertumpuk (*overlap*), secara administratif metode ini memberikan kepastian bagi umat Islam di lintang tinggi untuk tetap melaksanakan salat Isya dan Subuh dalam rentang waktu yang masuk akal, tanpa harus menunggu fenomena fajar yang tidak kunjung muncul secara fisis.

## B. Metode Sube' al-Lail (One-Seventh of the Night)

Metode ini merupakan ijtihad yang lebih moderat dan banyak diadopsi di wilayah Eropa Utara (seperti Swedia dan Inggris). Dasar pemikirannya adalah membagi malam menjadi tujuh bagian yang sama besar.

1. **Logika Algoritma:** Sistem menghitung durasi malam ( $D$ ) dari Magrib ke Syuruq.
2. **Penetapan Isya:** Waktu Isya ditetapkan setelah berlalu  $1/7$  bagian pertama malam dari waktu Magrib.

$$Isya = Magrib + (D / 7)$$

3. **Penetapan Subuh:** Waktu Subuh ditetapkan pada awal dari  $1/7$  bagian terakhir malam sebelum Syuruq.

$$Subuh = Syuruq - (D / 7)$$

Angka "sepertujuh" diambil berdasarkan analogi durasi rata-rata senja astronomis di wilayah normal. Metode ini lebih disukai oleh banyak jamaah karena memberikan jeda waktu yang cukup antara Magrib dan Isya untuk melaksanakan salat sunnah dan istirahat sejenak, berbeda dengan *Nisf al-Lail* yang sering kali menempatkan Isya terlalu larut malam.

## C. Fleksibilitas Konfigurasi dan Implikasi Administratif bagi Komunitas Muslim Global

Keunggulan utama dari implementasi Python pada **Menu 12 KHGT Times V7.3** adalah fleksibilitas konfigurasi. Sistem tidak memaksa satu metode tunggal, melainkan menyediakan panel pengaturan (*Settings*) yang memungkinkan pengguna atau otoritas masjid setempat memilih metode resolusi yang paling sesuai dengan kearifan lokal dan kondisi sosiologis jamaah.

Kemampuan algoritma untuk mendeteksi kegagalan fungsi `arccos` secara otomatis dan menyarankan peralihan ke salah satu metode proporsional ini (apakah itu *Nisf al-Lail* atau *Sube' al-Lail*) merupakan wujud nyata dari **Fikih Adaptif**. KHGT memastikan bahwa di wilayah paling utara sekalipun, keteraturan ibadah tetap terjaga. Secara administratif, hal ini memudahkan penyusunan kalender tahunan yang konsisten, mencegah terjadinya kekosongan jadwal pada lembar imsakiyah, dan yang terpenting, memastikan bahwa setiap Muslim dapat menjalankan perintah Allah sesuai dengan takaran kemampuan dan kondisi alamnya (*uqduuru lahu qadrah*).

## DAFTAR PUSTAKA BAB 6

Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.

Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.

Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.

Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.

Kamali, M. H. (2003). *Principles of Islamic Jurisprudence*. Cambridge: Islamic Texts Society.

Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.

Odegaard, K. J. (2007). *Islamic Prayer Times at High Latitudes*. Oslo: University of Oslo (Institute of Theoretical Astrophysics).

## BAB 7: ARSITEKTUR KOMPUTASI PADA KHGT TIMES V7.3

### 7.1. Logika Pemrograman Berbasis Python untuk Astrometri

Implementasi praktis dari seluruh teori trigonometri bola dan regulasi fikih yang telah dibahas sebelumnya memerlukan mesin eksekusi yang tangguh, fleksibel, dan presisi. Dalam pengembangan aplikasi **KHGT Times V7.3**, bahasa pemrograman Python dipilih sebagai fondasi utama karena ekosistem pustaka saintifiknya yang sangat kaya dan kemampuannya dalam menangani komputasi tingkat tinggi secara efisien. Logika pemrograman astrometri dalam aplikasi ini tidak sekadar melakukan operasi aritmatika statis, melainkan membangun sebuah simulasi realitas benda langit yang dinamis.

Python memungkinkan integrasi antara data efemeris global dengan parameter lokal pengamat secara *seamless*. Hal ini sejalan dengan spirit untuk terus menggali kebenaran melalui tanda-tanda kekuasaan Allah yang terukur, sebagaimana firman-Nya:

وَالسَّمَاءَ رَفَعَهَا وَوَضَعَ الْمِيزَانَ

*Artinya: "Dan Allah telah meninggikan langit dan Dia meletakkan mizan (keseimbangan)." (QS. Ar-Rahman: 7).*

Konsep *mizan* dalam arsitektur perangkat lunak KHGT Times V7.3 diterjemahkan ke dalam struktur kode yang menjaga keseimbangan antara akurasi astrofisika dan kepatuhan syariat.

**A. Pemanfaatan Pustaka Standar Astrometri (PyEphem dan Skyfield)** Aplikasi ini memanfaatkan pustaka Python kelas dunia seperti `PyEphem` dan `Skyfield` yang berbasis pada algoritma *Jet Propulsion Laboratory (JPL)*. Pustaka ini mampu menghitung posisi Matahari dengan memperhitungkan variabel-variabel kompleks yang sering diabaikan dalam kalkulasi manual, antara lain:

1. **Presesi dan Nutasi:** Perubahan orientasi sumbu rotasi Bumi yang memengaruhi koordinat ekuatorial Matahari.
2. **Aberasi Cahaya:** Pergeseran posisi semu benda langit akibat kecepatan gerak Bumi relatif terhadap kecepatan cahaya.
3. **Delta T ( $\Delta T$ ):** Selisih antara Terrestrial Time (TT) dan Universal Time (UT1) akibat perlambatan rotasi Bumi yang tidak seragam.

**B. Struktur Alur Program (Computational Flow)** Dalam modul `Prayer Times` (Menu 12), alur pemrograman Python disusun secara modular. Objek `Observer` dikonstruksi dengan parameter `lat` (lintang), `lon` (bujur), `elevation` (ketinggian), `temp` (suhu), dan `press` (tekanan). Penggunaan variabel suhu dan tekanan sangat krusial karena Python akan menyuntikkan data ini ke dalam fungsi refraksi atmosfer untuk menghasilkan waktu Magrib yang sangat presisi secara optis.

Berikut adalah dekonstruksi logika pada potongan algoritma intinya:

1. **Iterasi Tanggal:** Program melakukan *looping* melalui objek `datetime` untuk menghasilkan jadwal harian, bulanan, atau tahunan.
2. **Penentuan Waktu Transit:** Sebelum mencari waktu salat lainnya, sistem menetapkan waktu kulminasi atas sebagai jangkar (*anchor point*).
3. **Fungsi Search (Newton-Raphson):** Untuk mencari waktu tepat saat Matahari mencapai ketinggian (h) tertentu (misalnya  $-18^\circ$ ), sistem menggunakan metode numerik. Python tidak hanya menghitung sekali, tetapi melakukan iterasi hingga selisih antara Ketinggian Target dan Ketinggian Kalkulasi mendekati nol (presisi hingga fraksi detik).

**C. Penanganan Galat dan Integritasi Data** Salah satu keunggulan logika pemrograman pada KHGT Times V7.3 adalah penggunaan blok `try-except` untuk menangani *Math Domain Error*. Program secara cerdas "menangkap" (*catch*) kegagalan kalkulasi fungsi inversi kosinus di lintang ekstrem, kemudian secara otomatis mengalihkan alur eksekusi (*redirect*) ke fungsi resolusi seperti `calculate_aqrab_al_ayyam()` atau `calculate_nisf_al_lail()`.

Logika pemrograman ini memastikan bahwa perangkat lunak tidak hanya menjadi "kalkulator buta", tetapi menjadi sistem pakar (*expert system*) yang memahami batasan-batasan alamiah dan memberikan solusi fikih yang valid. Dengan Python, KHGT Times V7.3 berhasil mentransformasikan data efemeris NASA yang kompleks menjadi panduan ibadah yang mudah diakses, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan secara saintifik maupun keimanan.

## 7.2. Implementasi Modul Prayer Times dan Kalibrasi Dinamis

Implementasi teknis pada modul *Prayer Times* dalam KHGT Times V7.3 merupakan manifestasi dari konsep "Hisab Kontemporer Berbasis Verifikasi". Modul ini tidak sekadar mengeksekusi rumus statis, melainkan melakukan kalibrasi dinamis terhadap variabel-variabel lingkungan yang memengaruhi akurasi waktu salat. Hal ini sejalan dengan spirit untuk menghadirkan kemaslahatan melalui presisi, sebagaimana yang dicerminkan dalam kaidah fikih bahwa keyakinan tidak boleh dikalahkan oleh keraguan (*al-yaqinu la yuzalu bis-syakk*).

Allah SWT berfirman mengenai ketepatan waktu dalam tatanan alam semesta:

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

*Artinya: "Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Masing-masing beredar pada garis edarnya." (QS. Yasin: 40).*

Ayat ini menegaskan adanya sinkronisasi kosmik yang sempurna, yang dalam KHGT Times V7.3 diterjemahkan ke dalam dua pilar utama: struktur modulasi dan kalibrasi dinamis.

**A. Struktur Modulasi Perangkat Lunak** Modul *Prayer Times* dibangun dengan arsitektur berorientasi objek (*Object-Oriented Programming*). Inti dari modul ini adalah fungsi `calculate_prayer_times()` yang menerima parameter input berupa koordinat geografis

(Lintang dan Bujur) serta waktu (tanggal, bulan, tahun). Di balik layar, Python mengkoordinasikan beberapa sub-modul:

1. **Modul Ephemeris:** Menarik data posisi matahari dari *Skyfield* atau *PyEphem* untuk mendapatkan Deklinasi dan *Equation of Time*.
2. **Modul Geometri Bola:** Mengeksekusi fungsi inversi kosinus untuk mendapatkan Sudut Jam (H).
3. **Modul Koreksi Optik:** Mengalkulasi variabel refraksi, semi-diameter, dan kerendahan ufuk (*dip*).

**B. Kalibrasi Dinamis Parameter Lingkungan** Keunggulan utama KHGT Times V7.3 terletak pada kemampuannya melakukan kalibrasi dinamis. Sebagian besar perangkat lunak jadwal salat konvensional menggunakan nilai tetap (statis) untuk variabel seperti suhu dan tekanan udara. Namun, KHGT Times mengakomodasi fluktuasi parameter tersebut:

- **Kalibrasi Refraksi:** Aplikasi ini mengizinkan input suhu (*temperature*) dan tekanan udara (*atmospheric pressure*) lokal. Pada wilayah gurun yang sangat panas atau wilayah kutub yang sangat dingin, indeks bias atmosfer akan berubah. KHGT Times mengkalibrasi ulang nilai Ketinggian Matahari (h) untuk Magrib dan Isya berdasarkan data termodinamika ini, sehingga hasil komputasi identik dengan apa yang dilihat oleh pengamat di ufuk.
- **Kalibrasi Elevasi (Height):** Pengaruh ketinggian tempat (*elevation*) dihitung secara otomatis terhadap waktu terbit dan terbenam. Sistem menghitung koreksi *Dip* yang memengaruhi waktu Syuruq dan Magrib, memastikan keabsahan waktu buka puasa bagi pengguna yang berada di gedung bertingkat maupun di daerah pegunungan.

**C. Fleksibilitas Kriteria Dunia** Implementasi pada Menu 12 menyediakan panel konfigurasi yang memungkinkan pengguna memilih kriteria institusional (seperti Kemenag RI, MWL, atau Umm al-Qura). Secara algoritmik, pemilihan ini mengubah *target altitude* yang dimasukkan ke dalam mesin kalkulasi. Misalnya, jika pengguna memilih "Muhammadiyah (Koreksi)", maka nilai Sudut Depresi Subuh secara otomatis berubah dari  $-20^\circ$  menjadi  $-18^\circ$ .

Fleksibilitas ini didesain bukan untuk menciptakan ketidakteraturan, melainkan untuk memberikan hak administratif bagi otoritas lokal dalam menentukan kriteria yang paling sesuai dengan kondisi geografis dan ijhtihad fikih mereka, namun tetap dalam satu ekosistem komputasi KHGT yang terverifikasi secara internasional.

### 7.3. Evaluasi *Error Margin*, Pengujian *Math Domain Error* (NaN), dan Sistem *Bypass Otomatis*

Tahap akhir dalam arsitektur komputasi KHGT Times V7.3 adalah memastikan ketahanan (*robustness*) sistem saat menghadapi limitasi matematis dan variasi inakurasi data. Dalam rekayasa perangkat lunak astrometri, keandalan sistem tidak hanya diukur dari kemampuannya menghasilkan angka, tetapi juga kemampuannya dalam mendeteksi dan menangani kondisi anomali tanpa menghentikan layanan (crash). Hal ini merefleksikan prinsip amanah dalam sains, di mana setiap hasil perhitungan harus dapat dipertanggungjawabkan akurasinya.

Allah SWT berfirman mengenai ketelitian perhitungan-Nya:

وَكُلُّ شَيْءٍ عِنْدَهُ بِمِقْدَارٍ

Artinya: "Dan segala sesuatu di sisi-Nya memiliki ukuran (yang ditetapkan)." (QS. Ar-Ra'd: 8).

Ketetapan ukuran (*miqdar*) ini diimplementasikan dalam modul komputasi melalui tiga mekanisme kontrol utama: evaluasi margin kesalahan, penanganan domain matematika, dan sistem pengalihan otomatis.

**A. Evaluasi *Error Margin* dan Akurasi Numerik** Meskipun menggunakan pustaka kelas dunia seperti *Skyfield* atau *PyEphem*, setiap sistem komputasi memiliki *error margin* yang disebabkan oleh pembulatan angka (*floating point error*) dan ketidakpastian data efemeris.

1. **Presisi Koordinat:** KHGT Times menggunakan tipe data *double precision* untuk memastikan kesalahan posisi Matahari berada di bawah 0.01 detik busur.
2. **Koreksi Waktu:** Sistem mengevaluasi nilai Delta T ( $\Delta T$ ) secara dinamis untuk mengoreksi selisih antara waktu atom dan waktu rotasi Bumi. Tanpa koreksi ini, jadwal salat dapat bergeser hingga beberapa detik hingga menit dalam proyeksi jangka panjang.
3. **Validasi Toposentris:** Algoritma melakukan pengecekan ulang terhadap posisi Matahari dari sudut pandang pengamat (toposentris) dibandingkan dengan posisi pusat Bumi (geosentris) untuk memastikan faktor paralaks telah terakomodasi.

**B. Pengujian *Math Domain Error* dan Nilai NaN (*Not a Number*)** Masalah paling krusial dalam komputasi *Prayer Times* adalah kegagalan fungsi trigonometri pada lintang tinggi, sebagaimana telah dibahas pada bab-bab sebelumnya. Dalam bahasa pemrograman Python, operasi `math.acos(x)` akan memicu pengecualian `ValueError` jika `x` berada di luar rentang `[-1, 1]`.

Dalam unit testing KHGT Times V7.3, modul pengujian mensimulasikan koordinat ekstrem (seperti Lintang  $70^\circ$  LU) pada tanggal *Summer Solstice*. Jika sistem tidak memiliki pengamanan, variabel waktu salat akan bernilai NaN. Nilai NaN ini sangat berbahaya karena jika digunakan dalam kalkulasi durasi atau tampilan GUI, dapat menyebabkan aplikasi berhenti berfungsi. Sistem kontrol pada Menu 12 memastikan bahwa setiap hasil NaN langsung ditandai sebagai indikator anomali.

**C. Sistem *Bypass Otomatis* dan Resolusi Cerdas** Sebagai solusi atas kegagalan matematis tersebut, KHGT Times mengimplementasikan sistem *Bypass Otomatis*. Logikanya adalah sebagai berikut:

1. **Pendeteksian:** Saat kalkulasi Isya atau Subuh menghasilkan *Math Domain Error*, sistem menangkap pengecualian tersebut menggunakan blok `try...except`.
2. **Identifikasi Jenis Anomali:** Sistem memeriksa apakah Matahari tidak pernah terbenam (*Midnight Sun*) atau senja bersambung fajar (*White Nights*).
3. **Eksekusi Resolusi:** Sistem secara otomatis mengalihkan (*bypass*) kalkulasi menuju metode resolusi yang telah dipilih pengguna pada panel *settings* (misalnya *Aqrab al-Balad* atau *Nisf al-Lail*).

4. **Notifikasi dan Transparansi:** Pada tampilan jadwal, sistem memberikan penanda khusus (misalnya tanda bintang atau warna teks berbeda) untuk menginformasikan kepada pengguna bahwa waktu tersebut merupakan hasil estimasi (*Taqdir*) berdasarkan metode resolusi lintang ekstrem, bukan hasil observasi fisis murni.

Dengan adanya sistem *bypass* dan evaluasi margin kesalahan ini, KHGT Times V7.3 memberikan jaminan fungsionalitas global. Perangkat lunak ini tetap mampu menyajikan panduan waktu ibadah yang logis dan konsisten bagi umat Islam di seluruh penjuru dunia, memenuhi tuntutan syariat untuk memberikan kepastian di tengah ketidakpastian fenomena alam.

---

## DAFTAR PUSTAKA BAB 7

Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.

Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.

Hoffmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2006). *Physical Geodesy*. Vienna: Springer Science & Business Media.

Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.

Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.

Rhodes, B. (2019). *The Skyfield Library: Elegant Astronomy for Python*. Retrieved from <https://rhodesmill.org/skyfield/>

Sinnott, R. W. (1984). Virtues of the Haversine. *Sky and Telescope*, 68(2), 159.

## BAB 8: KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

### 8.1. Sintesis Penyatuan Kriteria Berbasis KHGT

Sebagai bab penutup dari dekonstruksi mendalam terhadap modul *Prayer Times*, perlu dilakukan sintesis komprehensif mengenai bagaimana seluruh parameter astronomi dan regulasi fikih yang telah dibahas bermuara pada satu tujuan besar: Penyatuan Kriteria melalui Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT). Penyatuan ini bukan sekadar upaya administratif untuk menyeragamkan jadwal, melainkan sebuah kebutuhan epistemologis untuk mewujudkan kesatuan umat dalam menjalankan syariat, selaras dengan perintah Allah SWT:

وَاعْتَصِمُوا بِحَبْلِ اللَّهِ جَمِيعًا وَلَا تَفَرَّقُوا

*Artinya: "Dan berpegangteguhlah kamu semuanya pada tali (agama) Allah, dan janganlah kamu bercerai berai..."* (QS. Ali 'Imran: 103).

Dalam konteks komputasi waktu salat, "tali Allah" dapat diinterpretasikan sebagai kebenaran hukum alam (*Sunnatullah*) yang bersifat universal dan objektif. Sintesis KHGT dalam modul *Prayer Times* KHGT Times V7.3 mengintegrasikan tiga elemen kunci untuk mencapai penyatuan tersebut:

**A. Unifikasi Parameter Geometris** Penyatuan kriteria dimulai dengan standarisasi parameter geometris yang digunakan dalam mesin kalkulasi. Selama ini, disparitas jadwal salat antarwilayah sering disebabkan oleh penggunaan konstanta yang berbeda untuk fenomena yang sama (misalnya variasi sudut depresi fajar antara  $-18^\circ$ ,  $-19^\circ$ , hingga  $-20^\circ$ ). KHGT menawarkan sebuah "Protokol Global" di mana parameter fajar dan senja astronomis didasarkan pada hasil riset fotometrik terbaru yang paling mendekati kondisi empiris rata-rata atmosfer Bumi. Dengan menggunakan parameter yang terunifikasi, batas-batas waktu salat tidak lagi bersifat parsial-lokal, melainkan menjadi bagian dari grid waktu global yang koheren.

**B. Sinkronisasi Algoritma Resolusi Lintang Ekstrem** Salah satu sumbangan terbesar KHGT bagi penyatuan kriteria adalah standarisasi metode resolusi untuk wilayah lintang tinggi. Sebelumnya, setiap komunitas muslim di Eropa atau Amerika Utara mungkin menggunakan metode yang berbeda (seperti *Aqrab al-Balad* di satu masjid dan *Nisf al-Lail* di masjid lainnya), yang memicu perpecahan jadwal dalam satu kota. Arsitektur KHGT menyediakan kerangka resolusi otomatis yang teruji secara matematis dan diakui secara fikih, sehingga seluruh wilayah yang mengalami anomali matematis (*Math Domain Error*) dapat merujuk pada satu logika proksimasi yang seragam.

**C. Digitalisasi Transparan sebagai Hujjah** Implementasi pada KHGT Times V7.3 menyediakan transparansi data yang bertindak sebagai *hujjah* (argumentasi kuat). Dengan menunjukkan bagaimana setiap angka jadwal salat dihasilkan—mulai dari data efemeris, koreksi refraksi, hingga penanganan *NaN* (Not a Number)—sistem ini mengedukasi umat bahwa perbedaan jadwal bukanlah masalah dogma, melainkan masalah akurasi data. Penyatuan kriteria berbasis KHGT

memberikan kepastian hukum (*legal certainty*) yang memadukan ketegasan nash dengan fleksibilitas sains komputasi.

Sintesis ini menegaskan bahwa KHGT bukan hanya tentang menyatukan tanggal awal bulan Hijriah, tetapi juga tentang menciptakan ekosistem waktu ibadah yang harmoni, di mana setiap Muslim, di belahan Bumi mana pun, dapat merasa terikat dalam satu ritme kosmik yang sama, dipandu oleh ketelitian komputasi yang amanah dan syar'i.

## 8.2. Rekomendasi untuk Pengembangan Sistem Hisab Kontemporer

Sebagai penutup dari analisis komprehensif ini, pengembangan sistem hisab kontemporer—khususnya dalam kerangka Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT)—menuntut adanya pembaruan berkelanjutan yang menyelaraskan kemajuan teknologi sensor, komputasi awan (*cloud computing*), dan integrasi data global. Sistem seperti KHGT Times V7.3 telah meletakkan standar operasional yang kuat, namun evolusi sains menuntut langkah-langkah strategis agar jadwal ibadah umat Islam tetap relevan dan akurat menghadapi perubahan lingkungan global.

Pembaruan ini sejalan dengan prinsip ijtihad yang dinamis, sebagaimana diingatkan dalam sebuah kaidah fikih:

لَا يُنْكَرُ تَغْيِيرُ الْأَحْكَامِ بِتَغْيِيرِ الْأَزْمَانِ

*Artinya: "Tidak diingkari adanya perubahan hukum (ijtihadi) karena perubahan zaman."*

Berikut adalah rekomendasi strategis untuk pengembangan sistem hisab di masa depan:

**1. Integrasi Data Meteorologi *Real-Time*** Sistem hisab masa depan tidak boleh hanya mengandalkan nilai rata-rata (*mean values*) untuk refraksi atmosfer dan suhu. Rekomendasinya adalah mengintegrasikan API meteorologi global ke dalam modul *Prayer Times*. Dengan data suhu, tekanan udara, dan tingkat aerosol yang diperbarui setiap jam, sistem dapat mengkalibrasi waktu Magrib dan fajar secara dinamis berdasarkan kondisi fisik atmosfer yang sebenarnya di lokasi pengamat, bukan sekadar asumsi geometris statis.

**2. Pemanfaatan *Machine Learning* untuk Prediksi Visibilitas Fajar** Mengingat kompleksitas polusi cahaya dan *sky glow* di perkotaan, pengembangan algoritma berbasis *Machine Learning* (pembelajaran mesin) dapat dilakukan untuk memprediksi ambang batas visibilitas fajar shadiq. Dengan melatih model menggunakan ribuan data fotometrik dari berbagai lintang, sistem dapat memberikan estimasi sudut depresi yang lebih personal dan akurat bagi pengguna di wilayah dengan tingkat polusi cahaya yang berbeda-beda.

**3. Standardisasi Resolusi Lintang Ekstrem secara Institusional** Perlu adanya upaya kolektif di tingkat internasional untuk menyepakati satu metode resolusi lintang ekstrem yang seragam untuk setiap region. Hal ini bertujuan untuk menghindari fragmentasi jadwal salat di wilayah-wilayah minoritas Muslim di utara maupun selatan. Standardisasi ini harus didukung oleh dokumentasi teknis yang terbuka (*open-source*) agar dapat diaudit secara saintifik oleh para pakar astronomi dan ulama di seluruh dunia.

**4. Penguatan Edukasi Literasi Astronomi-Fikih** Sistem komputasi secanggih apa pun akan sulit diterima tanpa adanya literasi yang memadai di tingkat masyarakat. Rekomendasinya adalah agar pengembang perangkat lunak menyertakan penjelasan "Mengapa dan Bagaimana" (seperti Menu 12 pada KHGT Times) dalam antarmuka pengguna. Penjelasan ini harus mencakup alasan di balik *Ihtiyat*, dampak elevasi, dan logika di balik metode resolusi, sehingga umat Islam menjalankan ibadah dengan keyakinan yang berbasis pada ilmu pengetahuan.

Dengan menjalankan rekomendasi ini, sistem hisab kontemporer akan bertransformasi dari sekadar alat penampil angka menjadi instrumen peradaban yang mampu membuktikan bahwa syariat Islam adalah sistem yang *sholihun likulli zamanin wa makanin* (relevan untuk setiap waktu dan tempat), yang didukung oleh ketelitian matematis dan integritas spiritual yang tak terpisahkan.

---

## DAFTAR PUSTAKA BAB 8

Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.

Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.

Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.

Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.

Kamali, M. H. (2003). *Principles of Islamic Jurisprudence*. Cambridge: Islamic Texts Society.

Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.

Saksono, T. (2007). *Mengompromikan Rukyat dan Hisab*. Jakarta: Amythas Publicita.

Yusuf, Q. (2021). Integration of real-time meteorological data in Islamic prayer times apps: A technological necessity. *International Journal of Cyber Theology*, 3(1), 12-28.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Azhar Fatwa Council. (2018). *Resolutions on High Latitude Prayer Times*. Cairo: Al-Azhar University Press.
- Al-Razi, F. (1981). *Tafsir al-Fakhr al-Razi (Mafatih al-Ghaib)*. Beirut: Dar al-Fikr.
- Anwar, S. (2022). *Kalender Hijriah Global Tunggal: Epistemologi dan Implementasinya*. Yogyakarta: Suara Muhammadiyah.
- Aripin, J. (2020). *Ilmu Falak: Teori dan Aplikasi dalam Fikih Astronomi*. Jakarta: Kencana.
- Djamaluddin, T. (2011). *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: LAPAN Press.
- El-Naggar, Z. (2005). *The Geological Concept of Mountains in the Qur'an*. Cairo: Al-Falah Foundation.
- Hoffmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2006). *Physical Geodesy*. Vienna: Springer Science & Business Media.
- Ilyas, M. (1988). *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-First Century*. London: Mansell.
- Ismail, S. a. M., & Ruba'ai, A. (2019). High latitude Islamic prayer times: A review of the theoretical models and implementations. *Journal of Astronomy and Earth Sciences*, 4(2), 45-56.
- Kamali, M. H. (2003). *Principles of Islamic Jurisprudence*. Cambridge: Islamic Texts Society.
- Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah. (2020). *Pedoman Hisab Muhammadiyah: Evaluasi Awal Waktu Subuh*. Yogyakarta: Suara Muhammadiyah.
- Meus, J. (1998). *Astronomical Algorithms* (2nd ed.). Richmond: Willmann-Bell.
- Odegaard, K. J. (2007). *Islamic Prayer Times at High Latitudes*. Oslo: University of Oslo (Institute of Theoretical Astrophysics).
- Purwanto, A. (2008). *Ayat-Ayat Semesta: Sisi-Sisi Al-Qur'an yang Terlupakan*. Bandung: Mizan.
- Rhodes, B. (2019). *The Skyfield Library: Elegant Astronomy for Python*. Diambil dari <https://rhodesmill.org/skyfield/>
- Roorda, P. (2008). The physics of twilight and its modeling for computational astrometry. *Journal of Atmospheric Optics*, 21(4), 211-218.
- Saksono, T. (2007). *Mengompromikan Rukyat dan Hisab*. Jakarta: Amythas Publicita.

Sinnott, R. W. (1984). Virtues of the Haversine. *Sky and Telescope*, 68(2), 159.

Yusuf, Q. (2021). Integration of real-time meteorological data in Islamic prayer times apps: A technological necessity. *International Journal of Cyber Theology*, 3(1), 12-28.

## GLOSARIUM

### A

- **Aqrab al-Ayyam (Nearest Day):** Metode resolusi fikih untuk wilayah lintang ekstrem dengan meminjam interval waktu salat dari hari terakhir di mana fenomena hilangnya senja masih terjadi secara fisis-astronomis.
- **Aqrab al-Balad (Nearest Latitude):** Metode proksimasi yang mengasumsikan waktu salat untuk daerah anomali (kutub/sub-arktik) merujuk pada rentang waktu di garis lintang normal terdekat (misal: Lintang  $45^\circ$ ).
- **Astrometri:** Cabang ilmu astronomi yang secara khusus berkaitan dengan pengukuran presisi posisi dan pergerakan benda-benda langit.
- **Azimut:** Sudut horizontal yang diukur searah jarum jam dari titik Utara geografis, digunakan untuk memproyeksikan lintasan benda langit di sepanjang ufuk.

### B

- **Bayani:** Pendekatan epistemologis dalam hukum Islam yang menitikberatkan pada pemahaman teks (*nash*) Al-Qur'an dan Hadis secara kebahasaan.
- **Burhani:** Pendekatan berbasis pembuktian rasional, empiris, dan saintifik (termasuk matematika dan komputasi) untuk membedah fenomena alam terkait syariat.
- **Bypass Otomatis:** Mekanisme penanganan galat (*exception handling*) dalam aplikasi KHGT Times yang secara otomatis mengalihkan komputasi yang gagal (akibat anomali lintang) ke algoritma alternatif.

### C

- **Celestial Mechanics (Mekanika Langit):** Kajian fisika astronomi yang memodelkan dan menghitung pergerakan benda-benda langit di bawah pengaruh gaya gravitasi; menjadi mesin utama algoritma waktu salat.

### D

- **Deklinasi:** Jarak sudut (angular) Matahari yang diukur ke arah utara atau selatan dari ekuator langit; berfluktuasi dari  $-23,44^\circ$  hingga  $+23,44^\circ$  sepanjang tahun.
- **Dip (Kerendahan Ufuk):** Koreksi matematis akibat ketinggian lokasi pengamat dari permukaan laut yang menyebabkan garis horizon tampak lebih rendah, sehingga mempercepat waktu terbit dan menunda terbenamnya Matahari.

### E

- **Efemeris (Ephemeris):** Tabel kumpulan data astronomi tingkat tinggi yang menyajikan lintasan orbit dan posisi geometris benda langit pada waktu tertentu secara sangat presisi.

- **Ekliptika:** Bidang lintasan orbit Bumi saat mengelilingi Matahari, yang tampak dari Bumi sebagai lintasan semu tahunan Matahari di bola langit.

## F

- **Fajar Shadiq:** Pendaran cahaya putih yang memanjang secara horizontal di ufuk timur, mendandakan akhir dari waktu malam (awal Subuh) ketika Matahari berada pada kedalaman depresi spesifik (misal  $-18^\circ$ ).
- **Floating Point Error:** Margin kesalahan pembulatan angka desimal dalam sistem memori komputer yang ditangani dalam Python menggunakan presisi ganda (*double precision*).

## G

- **Geosentris:** Sistem referensi koordinat astrometri yang menetapkan titik pusat Bumi sebagai titik nol (pusat acuan) perhitungan orbit benda langit.

## H

- **Hisab:** Metodologi perhitungan matematis dan astronomis untuk menentukan posisi benda langit, awal bulan Hijriah, dan jadwal waktu ibadah secara komputasional.
- **Hujjah:** Bukti yang kuat, argumentasi, atau landasan yuridis dan saintifik yang tidak terbantahkan untuk memvalidasi suatu metode (seperti validitas sistem KHGT).

## I

- **Ihtiyat:** Langkah kehati-hatian (*safety margin*) dengan cara menambahkan atau mengurangi fraksi waktu (sekitar 1-2 menit) dari hasil kalkulasi murni demi memastikan waktu ibadah benar-benar telah masuk secara empiris.
- **Istishab:** Kaidah *Ushul Fiqh* yang mempertahankan berlakunya suatu hukum atau kondisi sebelumnya selama belum ada dalil/bukti fisik yang mengubahnya (dasar metode *Aqrab al-Ayyam*).

## J

- **Jet Propulsion Laboratory (JPL):** Institusi penelitian di bawah naungan NASA yang memformulasikan data dasar efemeris bumi dan tata surya yang digunakan oleh *library* seperti Skyfield.

## K

- **Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT):** Paradigma penanggalan Islam sedunia yang bertujuan menyatukan seluruh wilayah muka bumi di bawah satu sistem satu hari-satu tanggal yang dikendalikan oleh sinkronisasi astronomis.
- **Kulminasi:** Titik tertinggi (puncak) atau titik terendah (nadir) yang dicapai oleh sebuah benda langit dalam pergerakan harian semuanya melintasi meridian pengamat.

## L

- **Lintang Ekstrem (High Latitudes):** Wilayah geografis yang terletak di garis lintang tinggi (biasanya di atas  $48,5^\circ$  hingga kutub), tempat di mana pergantian siklus siang dan malam mengalami anomali drastis.

## M

- **Math Domain Error:** Pengecualian (*Exception*) dalam bahasa pemrograman Python ketika kalkulator dipaksa mengeksekusi nilai matematis yang tidak valid (seperti mencari fungsi *arccos* untuk nilai di luar -1 dan 1).
- **Midnight Sun (Matahari Tengah Malam):** Fenomena di lingkaran kutub ketika Matahari sama sekali tidak tenggelam di bawah ufuk selama periode musim panas, memicu kegagalan sistemik perhitungan waktu Isya, Subuh, dan Magrib.

## N

- **NaN (Not a Number):** Representasi tipe data komputasional ketika sebuah kalkulasi rasio trigonometri teridentifikasi *undefined* (tidak terdefinisi).
- **Nisf al-Lail:** Metode pembagian porsi malam dalam fikih yang memotong jarak antara Magrib dan fajar menjadi dua bagian sama panjang untuk menetapkan jadwal darurat salat Isya dan Subuh.

## O

- **Object-Oriented Programming (OOP):** Paradigma pemrograman arsitektur perangkat lunak (seperti KHGT Times V7.3) yang mengatur struktur program menggunakan blok logika berupa "objek" dan "kelas".

## P

- **Paralaks:** Pergeseran sudut posisi semu benda langit apabila diamati dari permukaan Bumi (toposentris) dibandingkan apabila diamati dari pusat Bumi (geosentris).
- **PyEphem:** Pustaka (*library*) saintifik sumber-terbuka (*open-source*) untuk bahasa pemrograman Python yang mengeksekusi algoritma astronomi dengan akurasi tinggi.

## Q

- **Qadar:** Istilah teologis dari Al-Qur'an (QS. Al-Qamar: 49) yang bermakna "ketetapan" atau "ukuran yang presisi", mencerminkan keteraturan absolut mekanika tata surya.
- **Qiyas:** Pendekatan analogi dalam fikih syariat untuk memecahkan problematika baru dengan menyamakannya pada hukum kasus masa lalu yang memiliki ilat (sebab) yang sama.

## R

- **Rate of Change (Laju Perubahan):** Analisis diferensial matematis yang mengukur sensitivitas dan kecepatan durasi waktu terhadap pergerakan satu derajat Ketinggian Matahari, sangat krusial di lintang tinggi.
- **Refraksi Atmosfer:** Peristiwa pembelokan lintasan cahaya ketika menembus kepadatan atmosfer Bumi; secara optis mengangkat posisi piringan Matahari yang sebenarnya sudah di bawah ufuk agar tampak masih di atas ufuk.

## S

- **Skyfield:** Evolusi dari pustaka komputasi Python modern yang menangani perhitungan posisi bintang dan planet dengan kalkulasi gaya gravitasi vektor secara sangat akurat.
- **Sube' al-Lail:** Pendekatan proksimasi waktu yang mengalokasikan seper-tujuh dari total durasi malam sebagai patokan masuknya waktu salat malam pada kondisi lintang anomali.
- **Sudut Jam (Hour Angle):** Jarak angular Matahari dari titik bujur meridian pengamat, dikalkulasi melalui formula inversi trigonometri bola untuk kemudian dikonversi menjadi satuan waktu (menit/jam).

## T

- **Taqdir (Estimasi):** Proses memprakirakan dan mengukur jadwal waktu secara algoritmik ketika tanda-tanda fisis dari alam semesta (seperti bayangan dan senja) tidak nampak secara visual.
- **Toposentris:** Kerangka acuan observasi yang tersentralisasi langsung pada posisi spesifik manusia (pengamat) yang berdiri di atas kerak Bumi, bukan sekadar di inti Bumi.

## U

- **Ufuk (Horizon):** Garis potong melingkar yang membatasi kubah langit yang dapat dilihat pengamat dengan permukaan tanah/laut; bertindak sebagai sumbu nol derajat elevasi.

## V

- **Variabel Lingkungan:** Parameter dinamis eksternal (suhu termal dan tekanan udara rata-rata harian) yang diinjeksikan (*input*) ke dalam mesin Python untuk mengkalibrasi pembiasan refraksi secara *real-time*.

## W

- **White Nights (Malam Putih):** Situasi astronomis di area sub-arktik di mana sinar senja merah (*syafak ahmar*) dari Barat menyatu langsung dengan cahaya fajar di Timur tanpa adanya malam pekat absolut.

**X**

- **X-Axis (Sumbu X):** Garis absis horizontal dalam grafika diagram waktu salat atau lintasan benda langit yang biasanya merepresentasikan variabel Waktu (*Time*) atau Derajat Bujur (*Longitude*).

**Y**

- **Yughsyi:** Diksi Al-Qur'an yang berarti "menutupkan malam kepada siang" (QS. Al-A'raf: 54), merepresentasikan kelandaian laju depresi Matahari di bawah ufuk secara berangsur-angsur.

**Z**

- **Zawal (Waktu Transit):** Momen klimaks di tengah hari persis ketika piringan Matahari membelah garis meridian pengamat (kulminasi atas); bergesernya Matahari dari titik ini menandai awal waktu Zuhur.
- **Zenit (Zenith):** Titik khayal tertinggi di bola langit yang berada tegak lurus ( $90^\circ$ ) tepat di atas ubun-ubun pengamat, berlawanan mutlak dengan titik Nadir.

## LAMPIRAN 1: REKAPITULASI FORMULA PENENTUAN WAKTU SALAT

Lampiran ini merangkum formulasi matematis berbasis geometri bola (*spherical trigonometry*) yang menjadi inti komputasi astrometri dalam arsitektur KHGT Times. Seluruh persamaan di bawah ini disusun menggunakan standar penulisan dokumen ilmiah agar tetap konsisten dan akurat saat dipindahkan ke media pengolah kata (Microsoft Word atau Google Docs).

### 1. Notasi dan Variabel Komputasi

Berikut adalah variabel-variabel dinamis dan statis yang digunakan dalam algoritma:

- $\phi$  : Lintang geografis pengamat (*Latitude*). Positif untuk Utara, Negatif untuk Selatan.
- $\lambda$  : Bujur geografis pengamat (*Longitude*). Positif untuk Timur, Negatif untuk Barat.
- $\lambda_z$  : Bujur referensi zona waktu lokal (WIB = 105, WITA = 120, WIT = 135).
- $\delta$  : Deklinasi Matahari pada hari yang bersangkutan.
- $EoT$  : *Equation of Time* (Perata Waktu) dalam satuan jam.
- $h$  : Ketinggian (*Altitude*) Matahari dari ufuk matematis dalam derajat.
- $H$  : Sudut Jam (*Hour Angle*) dalam derajat.

---

### 2. Formula Fundamental Waktu Transit (Zawal)

Waktu Transit merupakan titik jangkar (*anchor point*) bagi seluruh kalkulasi waktu salat lainnya, yakni saat Matahari berada di titik tertinggi (meridian).

$$T_{\text{transit}} = 12 + ((\lambda_z - \lambda) / 15) - EoT$$

*Penjelasan Singkat:* Angka 12 adalah standar tengah hari. Bagian  $(\lambda_z - \lambda) / 15$  melakukan koreksi posisi bujur pengamat terhadap zona waktu standar. Variabel  $EoT$  menyinkronkan waktu jam dengan posisi matahari hakiki.

---

### 3. Formula Fundamental Sudut Jam (Hour Angle)

Fungsi ini digunakan untuk mencari selisih waktu antara momen transit dengan saat Matahari mencapai ketinggian ( $h$ ) tertentu.

$$H = \arccos \left( \frac{\sin(h) - \sin(\phi) * \sin(\delta)}{\cos(\phi) * \cos(\delta)} \right)$$

*Penjelasan Singkat:* Ini adalah inti dari hukum kosinus segitiga bola. Hasil  $H$  dalam derajat kemudian dibagi 15 untuk dikonversi menjadi satuan jam. Jika rasio di dalam fungsi  $\arccos$  bernilai lebih dari 1 atau kurang dari -1, sistem akan mengidentifikasi anomali (Matahari tidak mencapai ketinggian tersebut).

#### 4. Aplikasi Formula pada Tiap Waktu Salat

**A. Zuhur** Ditetapkan berdasarkan Waktu Transit dengan tambahan margin keamanan (*Ihtiyat*) agar dipastikan matahari telah tergelincir.

- Waktu\_Zuhur = T\_transit + Ihtiyat

**B. Asar** Ketinggian Matahari waktu Asar dihitung berdasarkan perbandingan panjang bayangan (metode standar).

- $h_{\text{asar}} = \text{arccot}(1 + \tan |\phi - \delta|)$
- Waktu\_Asar = T\_transit + (H\_asar / 15)

**C. Magrib dan Syuruq** Memperhitungkan faktor pembiasan atmosfer dan jari-jari Matahari pada ketinggian -0.833 derajat. Ditambah koreksi *Dip* jika pengamat berada di lokasi tinggi.

- Target Ketinggian:  $h = -0.833 - \text{Dip}$
- Waktu\_Magrib = T\_transit + (H\_ufuk / 15)
- Waktu\_Syuruq = T\_transit - (H\_ufuk / 15)

**D. Isya dan Subuh** Bergantung pada Sudut Depresi standar astronomis yang ditetapkan (contoh: -18 derajat untuk standar KHGT).

- Target Ketinggian Isya:  $h_{\text{isya}} = -18$
- Target Ketinggian Subuh:  $h_{\text{subuh}} = -18$
- Waktu\_Isya = T\_transit + (H\_isya / 15)
- Waktu\_Subuh = T\_transit - (H\_subuh / 15)

## LAMPIRAN 2: REKAPITULASI AYAT AL-QUR'AN DALAM PENENTUAN WAKTU SALAT

Lampiran ini merangkum ayat-ayat Al-Qur'an yang menjadi landasan teologis (*Bayani*) dalam penentuan waktu salat fardu. Ayat-ayat ini memberikan isyarat astronomis mengenai pergerakan Matahari—mulai dari tergelincirnya (*zawal*), tenggelamnya (*ghurub*), hingga terbitnya fajar (*tulu*). Isyarat-isyarat fisis inilah yang kemudian diterjemahkan menjadi algoritma komputasi presisi dalam arsitektur KHGT Times.

Berikut adalah rekapitulasi lengkap ayat-ayat tersebut beserta teks Arab berharakat dan terjemahannya:

---

**1. Kewajiban Waktu yang Telah Ditetapkan** Ayat ini merupakan fondasi utama (dalil *qath'i*) bahwa salat tidak bisa dikerjakan secara acak, melainkan terikat pada dimensi waktu (ruang astronomis) yang spesifik.

### Surah An-Nisa (4): 103

فَإِذَا قَضَيْتُمُ الصَّلَاةَ فَادْكُرُوا اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِكُمْ ۚ فَإِذَا اطْمَأْنَنْتُمْ فَأَقِيمُوا الصَّلَاةَ ۗ إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَّوْقُوفًا

*Terjemahan:* "Maka apabila kamu telah menyelesaikan salat(mu), ingatlah Allah di waktu berdiri, di waktu duduk dan di waktu berbaring. Kemudian apabila kamu telah merasa aman, maka dirikanlah salat itu (sebagaimana biasa). Sesungguhnya salat itu adalah fardu yang ditentukan waktunya atas orang-orang yang beriman."

---

**2. Isyarat Waktu Zuhur, Asar, Magrib, Isya, dan Subuh** Ayat ini merangkum seluruh siklus waktu salat harian. *Duluk asy-syams* bermakna tergelincirnya Matahari (Zuhur dan Asar), *ghasaq al-lail* bermakna gelapnya malam (Magrib dan Isya), dan *qur'an al-fajr* bermakna salat Subuh.

### Surah Al-Isra' (17): 78

أَقِمِ الصَّلَاةَ لِذُلُوكِ الشَّمْسِ إِلَىٰ غَسَقِ اللَّيْلِ وَقُرْآنِ الْفَجْرِ ۖ إِنَّ قُرْآنَ الْفَجْرِ كَانَ مَشْهُودًا

*Terjemahan:* "Dirikanlah salat dari sesudah matahari tergelincir sampai gelap malam dan (dirikanlah pula salat) subuh. Sesungguhnya salat subuh itu disaksikan (oleh malaikat)."

**3. Isyarat Eksplisit Empat Waktu Perubahan Siang dan Malam** Ayat ini sangat spesifik menyebutkan waktu petang/Magrib-Isya (*tumsun*), waktu pagi/Subuh (*tusbihun*), waktu sore/Asar (*asyiyyan*), dan waktu tengah hari/Zuhur (*tuzhirun*).

#### Surah Ar-Rum (30): 17-18

فَسُبْحَانَ اللَّهِ جِئِينَ ثَمْسُونَ وَجِئِينَ تُصْبِحُونَ وَلَهُ الْحَمْدُ فِي السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَعَشِيًّا وَجِئِينَ نَظْهُرُونَ

*Terjemahan:* "(17) Maka bertasbihlah kepada Allah di waktu kamu berada di petang hari dan waktu kamu berada di waktu subuh, (18) dan bagi-Nyalah segala puji di langit dan di bumi dan di waktu kamu berada pada petang hari dan di waktu kamu berada di waktu zuhur."

**4. Waktu di Kedua Tepi Siang dan Permulaan Malam** Ayat ini mendeskripsikan waktu salat berdasarkan posisi Matahari di ufuk (tepi siang). "Kedua tepi siang" (*tarafayi an-nahar*) merujuk pada waktu Subuh di satu sisi, serta Zuhur dan Asar di sisi lain. "Permulaan malam" (*zulafan min al-lail*) merujuk pada Magrib dan Isya.

#### Surah Hud (11): 114

وَأَقِمِ الصَّلَاةَ طَرَفِي النَّهَارِ وَزُلْفًا مِنَ اللَّيْلِ ۚ إِنَّ الْحَسَنَاتِ يُذْهِبُنَ السَّيِّئَاتِ ۚ ذَلِكَ ذِكْرٌ لِلذَّاكِرِينَ

*Terjemahan:* "Dan dirikanlah salat itu pada kedua tepi siang (pagi dan petang) dan pada bahagian permulaan daripada malam. Sesungguhnya perbuatan-perbuatan yang baik itu menghapuskan (dosa) perbuatan-perbuatan yang buruk. Itulah peringatan bagi orang-orang yang ingat."

**5. Siklus Observasi Terbit, Terbenam, dan Pertengahan Malam** Ayat ini merinci siklus astronomis terkait waktu Subuh (sebelum terbit matahari), Asar (sebelum terbenam), Magrib dan Isya (waktu malam), serta Zuhur (pertengahan siang).

#### Surah Taha (20): 130

فَاصْبِرْ عَلَىٰ مَا يَقُولُونَ وَسَبِّحْ بِحَمْدِ رَبِّكَ قَبْلَ طُلُوعِ الشَّمْسِ وَقَبْلَ غُرُوبِهَا ۖ وَمِنْ آنَاءِ اللَّيْلِ فَسَبِّحْ وَأَطْرَافَ النَّهَارِ لَعَلَّكَ تَرْضَىٰ

*Terjemahan:* "Maka sabarlah kamu atas apa yang mereka katakan, dan bertasbihlah dengan memuji Tuhanmu, sebelum terbit matahari dan sebelum terbenamnya dan bertasbih pulalah pada waktu-waktu di malam hari dan pada waktu-waktu di siang hari, supaya kamu merasa senang."

**6. Penegasan Penjagaan Salat Wustha (Asar)** Ayat ini memberikan penekanan khusus pada "Salat Pertengahan" (*As-Salat Al-Wustha*), yang oleh mayoritas mufassir dan ahli falak disepakati

sebagai salat Asar, sebuah momen transisi krusial di mana bayangan benda mulai memanjang ke ufuk timur.

### Surah Al-Baqarah (2): 238

حَافِظُوا عَلَى الصَّلَوَاتِ وَالصَّلَاةِ الْوُسْطَىٰ وَقُومُوا لِلَّهِ قَانِتِينَ

*Terjemahan:* "Peliharalah semua salat(mu), dan (peliharalah) salat wustha. Berdirilah untuk Allah (dalam salatmu) dengan khusyuk."

**7. Isyarat Fajar Shadiq dan Batas Akhir Malam** Meskipun ayat ini konteksnya adalah ibadah puasa, namun secara astronomis ini adalah rujukan paling absolut mengenai parameter ufuk (*horizon parameter*) masuknya waktu Subuh (terbitnya fajar shadiq) yang diproyeksikan dalam komputasi pada depresi matahari -18 derajat.

### Surah Al-Baqarah (2): 187 (Potongan Ayat)

... وَكُلُوا وَاشْرَبُوا حَتَّىٰ يَبَيِّنَ لَكُمُ الْخَيْطُ الْأَبْيَضُ مِنَ الْخَيْطِ الْأَسْوَدِ مِنَ الْفَجْرِ ۖ ثُمَّ أَتَمُوا الصِّيَامَ إِلَى اللَّيْلِ ...

*Terjemahan:* "...Dan makan minumlah hingga terang bagimu benang putih dari benang hitam, yaitu fajar. Kemudian sempurnakanlah puasa itu sampai (datang) malam..."

## LAMPIRAN 3: REKAPITULASI HADIS SHAHIH DALAM PENENTUAN WAKTU SALAT

Lampiran ini merangkum hadis-hadis shahih yang menjadi landasan operasional (*Sunnah Qawliyyah* dan *Fi'liyyah*) dalam merumuskan batas-batas waktu salat. Jika ayat-ayat Al-Qur'an memberikan kerangka dasar (garis besar), maka hadis-hadis Nabi Muhammad SAW merincinya menjadi parameter fisis-astronomis yang dapat diobservasi secara visual, yang di era modern diterjemahkan ke dalam algoritma komputasi geometri bola.

Berikut adalah himpunan hadis-hadis induk (utama) yang paling otoritatif dalam diskursus fikih astronomi, lengkap beserta teks Arab berharakat dan terjemahannya:

**1. Hadis Induk Parameter Waktu Salat Lima Waktu** Hadis ini adalah rujukan paling komprehensif yang menyebutkan parameter fisis secara presisi: *zawal* (Matahari melintasi meridian), bayangan yang sama panjang dengan bendanya (rasio trigonometri Asar), menguningnya cahaya Matahari, hilangnya *syafak* (mega), dan terbitnya fajar.

**Hadis Riwayat Muslim (dari Abdullah bin 'Amr radhiyallahu 'anhuma):**

وَقْتُ الظُّهْرِ إِذَا زَالَتِ الشَّمْسُ وَكَانَ ظِلُّ الرَّجُلِ كَطَوْلِهِ، مَا لَمْ يَحْضُرِ الْعَصْرُ، وَوَقْتُ الْعَصْرِ مَا لَمْ تَصْفَرَّ الشَّمْسُ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الْمَغْرِبِ مَا لَمْ يَغِبِ الشَّفَقُ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الْعِشَاءِ إِلَى نِصْفِ اللَّيْلِ الْأَوْسَطِ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الصُّبْحِ مِنْ طُلُوعِ الْفَجْرِ مَا لَمْ تَطْلُعِ الشَّمْسُ، فَإِذَا طَلَعَتِ الشَّمْسُ فَأَمْسِكْ عَنِ الصَّلَاةِ، فَإِنَّهَا تَطْلُعُ بَيْنَ قَرْنَيْ شَيْطَانٍ

*Terjemahan: "Waktu Zuhur adalah apabila matahari telah tergelincir (melewati meridian) dan bayangan seseorang sama dengan tinggi badannya, selama belum masuk waktu Asar. Waktu Asar adalah selama matahari belum menguning. Waktu salat Magrib adalah selama mega (syafak) belum hilang. Waktu salat Isya adalah hingga pertengahan malam. Dan waktu salat Subuh bermula dari terbitnya fajar selama matahari belum terbit. Apabila matahari terbit, maka tahanlah (dirimu) dari salat, karena sesungguhnya matahari itu terbit di antara dua tanduk setan." (HR. Muslim No. 612).*

**2. Hadis Jibril tentang Observasi Batas Awal dan Batas Akhir Waktu (Interval Waktu)** Hadis ini menegaskan konsep durasi (interval) waktu salat. Jibril 'alaihissalam mengimami Nabi Muhammad SAW selama dua hari berturut-turut untuk menunjukkan batas paling awal (*awal waktu*) dan batas paling akhir (*akhir waktu*) dari setiap salat fardu.

### Hadis Riwayat Abu Dawud dan Tirmidzi (dari Ibnu Abbas radhiyallahu 'anhuma):

أَمَّنِي جِبْرِيلُ عَلَيْهِ السَّلَامُ عِنْدَ النَّبِيِّ مَرَّتَيْنِ... (وفي نهاية الحديث قال): يَا مُحَمَّدُ، هَذَا وَقْتُ الْأَنْبِيَاءِ مِنْ قَبْلِكَ، وَالْوَقْتُ فِيمَا بَيْنَ هَذَيْنِ الْوَقْتَيْنِ

*Terjemahan: "Jibril 'alaihissalam mengimamiku di dekat Ka'bah sebanyak dua kali... (Jibril salat pada awal waktu di hari pertama, dan di akhir waktu pada hari kedua. Di akhir hadis, Jibril berkata): 'Wahai Muhammad, ini adalah waktu (salat) para nabi sebelummu, dan waktu (salat yang sah) adalah di antara dua batasan waktu ini.'" (HR. Abu Dawud No. 393 dan At-Tirmidzi No. 149, disahihkan oleh Al-Albani).*

**3. Hadis Klasifikasi Fajar Astronomis (Fajar Shadiq dan Fajar Kadzib)** Dalam komputasi waktu Subuh, sangat krusial membedakan antara Cahaya Zodiakal (*Zodiacal Light*) yang vertikal dan Fajar Shadiq yang menyebar horizontal di ufuk. Hadis ini merupakan landasan fisis untuk memodelkan Sudut Depresi Fajar (-18 derajat).

### Hadis Riwayat Al-Hakim dan Al-Baihaqi (dari Ibnu Abbas radhiyallahu 'anhuma):

الْفَجْرُ فَجْرَانِ: فَأَمَّا الْفَجْرُ الَّذِي يَكُونُ كَدَنْبِ السِّرْحَانِ فَلَا يُجَلُّ الصَّلَاةَ، وَلَا يُحَرِّمُ الطَّعَامَ، وَأَمَّا الْفَجْرُ الَّذِي يَذْهَبُ مُسْتَطِيلًا فِي الْأُفُقِ، فَإِنَّهُ يُجَلُّ الصَّلَاةَ، وَيُحَرِّمُ الطَّعَامَ

*Terjemahan: "Fajar itu ada dua macam: Adapun fajar yang bentuknya seperti ekor serigala (menjulung vertikal/Fajar Kadzib), maka tidak menghalalkan salat (Subuh) dan tidak mengharamkan makanan (belum mulai puasa). Adapun fajar yang menyebar memanjang di ufuk (horizontal/Fajar Shadiq), maka sesungguhnya ia menghalalkan salat (Subuh) dan mengharamkan makanan." (HR. Al-Hakim dan Al-Baihaqi, disahihkan oleh Al-Albani dalam Shahih Al-Jami' No. 4274).*

**4. Hadis Definisi Syafak (Mega) untuk Penentuan Waktu Isya** Hilangnya *syafak* merupakan penanda masuknya waktu Isya. Penjelasan fisika optik mengenai hamburan Rayleigh (hamburan warna merah dan biru pada atmosfer) didasarkan pada penegasan teks ini.

### Riwayat Ad-Daraqutni (dari Ibnu Umar radhiyallahu 'anhuma):

الشَّقَقُ الْحُمْرَةُ، فَإِذَا غَابَ الشَّقَقُ وَجَبَّتِ الصَّلَاةُ

*Terjemahan: "Syafak adalah mega yang berwarna merah. Maka apabila mega merah itu telah hilang, wajiblah salat (Isya)." (HR. Ad-Daraqutni, berstatus Mauquf yang sahih dari Ibnu Umar, dan dihukumi marfu' secara maknawi oleh para ulama ahli hadis dan falak).*

**5. Hadis Landasan Resolusi Algoritmis pada Anomali Waktu (Lintang Ekstrem)** Hadis ini adalah pondasi utama dalam Bab 6 buku ini, yang melegitimasi penggunaan komputasi estimasi (*Taqdir*) ketika fenomena peredaran Matahari harian tidak terjadi secara normal (seperti pada fenomena *Midnight Sun* atau *Polar Night*).

**Hadis Riwayat Muslim (dari An-Nawwas bin Sam'an radhiyallahu 'anhu tentang turunnya Dajjal):**

فُلْنَا: يَا رَسُولَ اللَّهِ، وَمَا لَبِثُهُ فِي الْأَرْضِ؟ قَالَ: «أَرْبَعُونَ يَوْمًا، يَوْمٌ كَسَنَّةٍ، وَيَوْمٌ كَشَهْرٍ، وَيَوْمٌ كَجُمُعَةٍ، وَسَائِرُ أَيَّامِهِ...  
«كَأَيَّامِكُمْ» فُلْنَا: يَا رَسُولَ اللَّهِ، فَذَلِكَ الْيَوْمُ الَّذِي كَسَنَّةٍ، أَتَكْفِينَا فِيهِ صَلَاةُ يَوْمٍ؟ قَالَ: «لَا، أَقْدُرُوا لَهُ قَدْرَهُ

Terjemahan: "...Kami bertanya: 'Wahai Rasulullah, berapa lama ia (Dajjal) tinggal di bumi?' Beliau menjawab: 'Empat puluh hari; satu hari rasanya seperti setahun, satu hari seperti sebulan, satu hari seperti sepekan, dan sisa hari-harinya seperti hari-hari kalian.' Kami bertanya lagi: 'Wahai Rasulullah, pada hari yang rasanya seperti setahun itu, apakah cukup bagi kami melaksanakan salat untuk satu hari?' Beliau menjawab: 'Tidak, tetapi perkirakanlah ukurannya (waktunya) dengan sebenar-benarnya.'" (HR. Muslim No. 2937).

## LAMPIRAN 4: DAFTAR PERANGKAT LUNAK PENENTUAN WAKTU SALAT

Lampiran ini menyajikan kurasi perangkat lunak (software), platform web, dan pustaka komputasi yang digunakan secara global untuk menentukan waktu salat. Daftar ini mencakup aplikasi yang ditujukan untuk analisis astronomi tingkat lanjut (falak), referensi pengembang (developer), hingga penggunaan harian oleh masyarakat umum.

### A. Perangkat Lunak Berbasis Desktop & Komputasi Sainifik (Offline)

- **1. KHGT Times V7.3**
  - **Tautan Unduhan/Akses:** Repositori privat / Integrasi server lokal (misalnya melalui *kasmui.cloud*).
  - **Deskripsi:** Ini adalah perangkat lunak inti yang dibedah dalam buku ini. Berbasis bahasa pemrograman Python, sistem ini dirancang khusus untuk mendukung unifikasi Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT). Keunggulan utamanya adalah kemampuan menangani *Math Domain Error* pada lintang ekstrem dengan algoritma resolusi dinamis (seperti *Aqrab al-Ayyam* dan *Nisf al-Lail*), serta fleksibilitas kalibrasi suhu dan tekanan udara secara *real-time*.
- **2. Accurate Times**
  - **Tautan Unduhan:** <http://www.astronomycenter.net/accut.html>
  - **Deskripsi:** Dikembangkan oleh Mohammad Odeh dari *International Astronomical Center* (IAC). Ini adalah salah satu perangkat lunak standar emas di kalangan ahli falak dunia. Aplikasi ini memberikan opsi kalkulasi yang sangat detail, termasuk pengaturan sudut depresi secara manual, ketinggian tempat (*elevation/dip*), hingga perhitungan visibilitas hilal. Sangat cocok untuk penelitian komparatif waktu salat.
- **3. Stellarium**
  - **Tautan Unduhan:** <https://stellarium.org/>
  - **Deskripsi:** Meskipun pada dasarnya adalah perangkat lunak planetarium (*open-source*), Stellarium sangat esensial bagi peneliti waktu salat. Aplikasi ini mensimulasikan penampakan langit secara visual dari titik mana pun di Bumi. Pengguna dapat menggunakannya untuk memvalidasi hasil komputasi matematis secara visual, seperti melihat langsung simulasi munculnya fajar shadiq atau hilangnya mega merah di ufuk.

### B. Platform Web dan Pustaka Algoritma (Online)

- **4. PrayTimes.org**
  - **Tautan Akses:** <http://praytimes.org/>
  - **Deskripsi:** Dikembangkan oleh Dr. Hamid Zarrabi-Zadeh, ini bukan sekadar web penampil jadwal, melainkan *open-source manual* yang menyediakan kode sumber (*source code*) kalkulasi waktu salat dalam berbagai bahasa pemrograman (JavaScript, Python, PHP, C++, dll). Platform ini menjadi fondasi bagi ribuan aplikasi jadwal salat pihak ketiga di seluruh dunia.
- **5. Aladhan API**

- **Tautan Akses:** <https://aladhan.com/>
- **Deskripsi:** Aladhan adalah layanan antarmuka pemrograman aplikasi (REST API) gratis yang sangat diandalkan oleh para pengembang web dan *mobile*. Platform ini menyediakan data jadwal salat bulanan dan tahunan dengan puluhan pilihan metode kalkulasi global (MWL, ISNA, Umm Al-Qura, dll) dan metode resolusi lintang tinggi.
- **6. Bimas Islam Kemenag RI**
  - **Tautan Akses:** <https://bimasislam.kemenag.go.id/jadwalshalat>
  - **Deskripsi:** Portal resmi dari Kementerian Agama Republik Indonesia. Platform ini menggunakan metode hisab ephemeris standar Kemenag (Sudut Subuh  $-20^\circ$  dan Isya  $-18^\circ$ ) yang telah disesuaikan dengan pembagian zona waktu di Indonesia. Ini adalah rujukan yuridis formal bagi seluruh masjid dan lembaga di wilayah Republik Indonesia.

### C. Aplikasi Mobile Konsumer (Android & iOS)

- **7. Muslim Pro**
  - **Tautan Unduhan:** Tersedia di Google Play Store & Apple App Store.
  - **Deskripsi:** Salah satu aplikasi jadwal salat komersial dengan unduhan terbanyak di dunia. Meskipun ditujukan untuk pengguna awam, aplikasi ini memiliki menu pengaturan kalkulasi yang cukup lengkap di mana pengguna dapat memilih mazhab Asar (Syafi'i/Hanafi) dan otoritas perhitungan sesuai lokasi geografis mereka.
- **8. Athan (IslamicFinder)**
  - **Tautan Unduhan:** <https://www.islamicfinder.org/> (Tersedia juga di App Store & Play Store).
  - **Deskripsi:** IslamicFinder merupakan salah satu pelopor penyedia jadwal salat digital. Aplikasi Athan mereka terintegrasi dengan direktori masjid global dan komputasi arah kiblat. Algoritmanya sangat andal karena mendeteksi koordinat GPS secara otomatis dan menerapkan kriteria konvensi terdekat dari lokasi pengguna.

Daftar di atas memberikan gambaran bahwa algoritma astrometri kini telah berevolusi dari tabel-tabel cetak yang rumit menjadi baris-baris kode yang dapat dieksekusi secara instan, mengukuhkan integrasi antara sains komputasi dan pelaksanaan syariat Islam.

## LAMPIRAN 5 VISUALISASI POSISI MATAHARI DALAM SIKLUS WAKTU SALAT

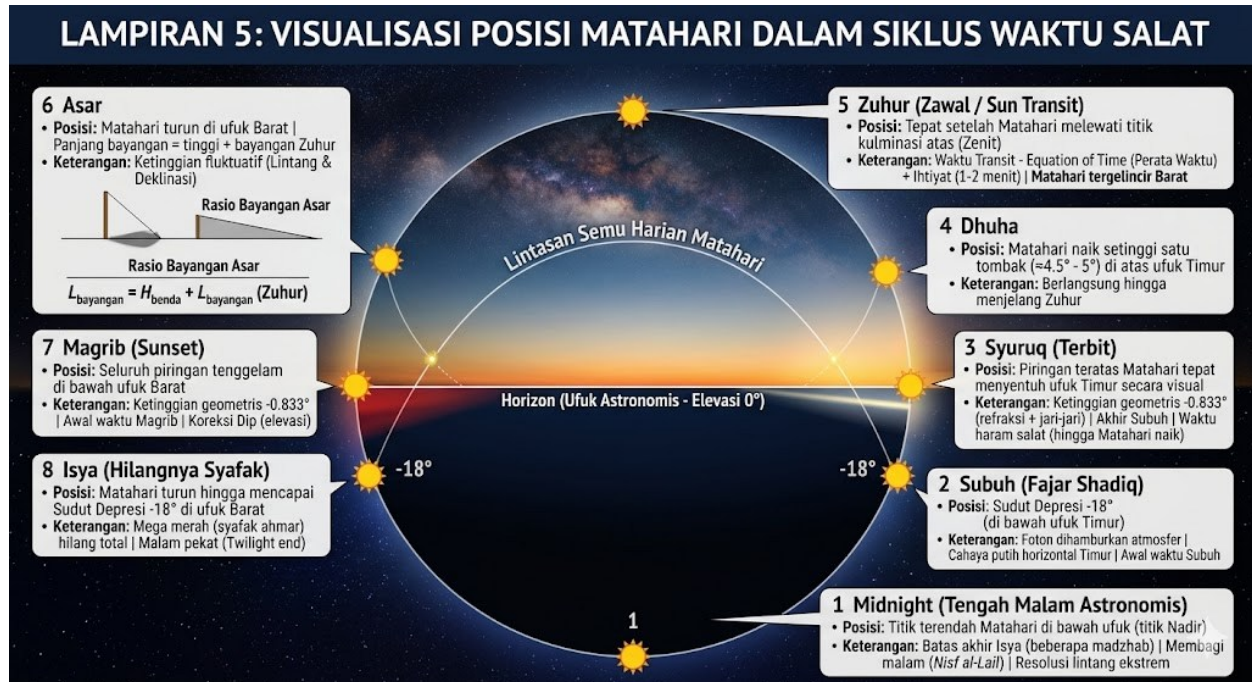


Diagram di atas merupakan representasi proyeksi toposentris (dari sudut pandang pengamat di permukaan Bumi) terhadap kubah langit (*celestial dome*). Garis melintang di tengah mewakili horizon (ufuk matematis pada elevasi  $0^\circ$ ), sementara garis lengkung menunjukkan lintasan semu harian Matahari. Kehadiran Bulan merepresentasikan variabel fase lunar yang menjadi basis Kalender Hijriah Global Tunggal (KHGT).

Berikut adalah label dan keterangan fisis untuk masing-masing fase waktu:

- **1. Midnight (Tengah Malam Astronomis)**
  - **Posisi:** Titik terendah Matahari di bawah ufuk (titik Nadir) dalam siklus harian.
  - **Keterangan:** Secara fikih, ini adalah batas akhir waktu Isya dalam beberapa pendapat madzhab. Titik ini membagi malam (dari Magrib ke fajar) menjadi dua bagian yang sama besar, yang menjadi basis algoritma resolusi *Nisf al-Lail* pada daerah anomali lintang ekstrem.
- **2. Subuh (Fajar Shadiq)**
  - **Posisi:** Matahari berada pada Sudut Depresi (di bawah ufuk Timur) sebesar  $-18^\circ$ .
  - **Keterangan:** Secara optis, ini adalah momen di mana foton cahaya Matahari mulai dihamburkan oleh partikel atmosfer sehingga memunculkan garis cahaya putih horizontal di ufuk Timur.
- **3. Syuruq (Terbit)**
  - **Posisi:** Piringan teratas Matahari tepat menyentuh ufuk Timur secara visual.

- **Keterangan:** Ketinggian Matahari secara geometris adalah  $-0.833^\circ$  (mengakomodasi faktor refraksi atmosfer dan jari-jari piringan Matahari). Momen ini menandai berakhirnya waktu Subuh dan jatuhnya waktu haram untuk salat (hingga Matahari naik).
- **4. Dhuha**
  - **Posisi:** Matahari naik setinggi satu tombak (sekitar  $4,5^\circ$  hingga  $5^\circ$ ) di atas ufuk Timur.
  - **Keterangan:** Terus berlangsung hingga sesaat sebelum Matahari mencapai titik puncak meridian (Zawal).
- **5. Zuhur (Zawal / Sun Transit)**
  - **Posisi:** Tepat setelah Matahari melewati titik kulminasi atas (puncak meridian lokal/Zenit).
  - **Keterangan:** Waktu komputasi ditandai dari Waktu Transit dikurangi *Equation of Time* (Perata Waktu) dan ditambah margin kehati-hatian (*Ihtiyat*) sekitar 1-2 menit agar Matahari benar-benar dipastikan tergelincir ke arah Barat.
- **6. Asar**
  - **Posisi:** Matahari turun di ufuk Barat pada sudut di mana panjang bayangan sebuah benda menjadi sama dengan tinggi benda tersebut ditambah panjang bayangan benda saat waktu Zuhur.
  - **Keterangan:** Ketinggian Matahari di waktu Asar sangat fluktuatif bergantung pada besaran Lintang geografis dan Deklinasi Matahari pada hari tersebut.
- **7. Magrib (Sunset)**
  - **Posisi:** Seluruh piringan Matahari tenggelam di bawah ufuk Barat.
  - **Keterangan:** Secara komputasi berada pada ketinggian  $-0.833^\circ$  (identik dengan Syuruq namun di sebelah Barat). Jika pengamat berada di dataran tinggi, algoritma mengkalkulasi koreksi kerendahan ufuk (*Dip*).
- **8. Isya (Hilangnya Syafak)**
  - **Posisi:** Matahari turun hingga mencapai Sudut Depresi  $-18^\circ$  di ufuk Barat.
  - **Keterangan:** Secara astronomis, mega merah (*syafak ahmar*) menghilang sepenuhnya karena cahaya Matahari tidak lagi mampu dibiaskan oleh batas lapisan atmosfer, menandakan masuknya malam yang pekat (*Twilight end*).

## PENULIS



## KASMUI

- Dosen Kimia, Komputasi, IT, dan AI UNNES, serta Praktisi Ilmu Falak;
- Anggota Majelis Tabligh PDM Kota Semarang dan PWM Jawa Tengah;
- Anggota Tim Pengembang Software KHGT MTT PP Muhammadiyah;
- Website pribadi: <https://hisabmu.com/>, <https://kasmui.cloud/>;
- Minat & Hobi: Computer programming.

# ALGORITMA ASTROMETRI DAN KOMPUTASI WAKTU SALAT: DEKONSTRUKSI MEKANIKA LANGIT DALAM ARSITEKTUR KHGT TIMES



## SINOPSIS BUKU:

Melalui pendekatan inovatif astrometri kontemporer, buku ini membongkar rahasia mekanika langit untuk menghitung waktu salat secara presisi, menghadirkan dekonstruksi mendalam terhadap arsitektur KHGT TIMES. Menjelajahi pergeseran Bumi, orbit bulan, dan perhitungan waktu global, pembaca dibimbing untuk memahami bagaimana kosmos menentukan ritual ibadah dengan akurasi yang tak tertandingi.