

Bab 1: Persamaan Schrödinger

Dokumen Kompilasi dari Materi Pembelajaran

4 November 2025

Daftar Isi

1	Pendahuluan	2
1.1	Kimia Kuantum	2
1.2	Latar Belakang Sejarah Mekanika Kuantum	3
1.2.1	Sifat Cahaya	3
1.2.2	Radiasi Benda Hitam dan Kuantisasi Energi	3
1.2.3	Efek Fotoelektrik dan Dualitas Gelombang-Partikel	4
1.2.4	Model Atom Rutherford dan Kuantisasi Bohr	4
1.2.5	Hipotesis De Broglie	5
1.3	Asas Ketidakpastian	5
1.4	Persamaan Schrödinger Bergantung Waktu	5
1.4.1	Keadaan dalam Mekanika Klasik	5
1.4.2	Keadaan dalam Mekanika Kuantum	6
1.4.3	Interpretasi Fungsi Gelombang	6
1.5	Persamaan Schrödinger Tak Bergantung Waktu	7
1.6	Probabilitas	7
1.6.1	Definisi dan Aturan	7
1.6.2	Probabilitas Variabel Kontinu	8
1.7	Bilangan Kompleks	8
1.7.1	Representasi dan Konjugat Kompleks	8
1.8	Satuan	9
1.9	Kalkulus	9
2	Ringkasan	10
3	Daftar Pustaka	11

1 Pendahuluan

1.1 Kimia Kuantum

Pada akhir abad ketujuh belas, Isaac Newton menemukan **mekanika klasik**, yaitu hukum gerak benda-benda makroskopis. Namun, pada awal abad kedua puluh, para fisikawan menemukan bahwa mekanika klasik tidak secara tepat menggambarkan perilaku partikel yang sangat kecil seperti elektron dan inti atom dan molekul. Perilaku partikel-partikel tersebut dijelaskan oleh seperangkat hukum yang disebut **mekanika kuantum**.

Kimia kuantum menerapkan mekanika kuantum pada masalah-masalah dalam kimia. Pengaruh kimia kuantum terlihat di semua cabang kimia:

- **Kimia Fisik:** Menggunakan mekanika kuantum (dengan bantuan mekanika statistik) untuk menghitung sifat-sifat termodinamika (misalnya, entropi, kapasitas panas) gas; menafsirkan spektrum molekul untuk penentuan eksperimental sifat molekul (misalnya, geometri molekul, momen dipol, penghalang terhadap rotasi internal, perbedaan energi antara isomer konformasi); menghitung sifat molekul secara teoritis; menghitung sifat keadaan transisi dalam reaksi kimia untuk memperkirakan konstanta laju; memahami gaya antarmolekul; dan membahas ikatan dalam padatan.
- **Kimia Organik:** Menggunakan mekanika kuantum untuk memperkirakan stabilitas relatif molekul, menghitung sifat perantara reaksi, menyelidiki mekanisme reaksi kimia, serta menganalisis dan memprediksi spektrum resonansi magnetik nuklir.
- **Kimia Analitik:** Metode spektroskopi yang digunakan secara ekstensif hanya dapat dipahami dan ditafsirkan frekuensi dan intensitas garisnya melalui penggunaan mekanika kuantum.
- **Kimia Anorganik:** Menggunakan teori medan ligan, sebuah metode kuantum-mekanis aproksimatif, untuk memprediksi dan menjelaskan sifat-sifat ion kompleks logam transisi.
- **Biokimia:** Meskipun perhitungan kuantum-mekanis pada molekul biologis sangat sulit karena ukurannya yang besar, biokimiawan mulai mendapatkan manfaat dari studi kuantum-mekanis tentang konformasi molekul biologis, pengikatan enzim-substrat, dan solvasi molekul biologis.

Mekanika kuantum juga menentukan sifat-sifat **nanomaterial** (benda dengan setidaknya satu dimensi dalam kisaran 1 hingga 100 nm). Ketika satu atau lebih dimensi material turun di bawah 100 nm (dan terutama di bawah 20 nm), perubahan dramatis dalam sifat optik, elektronik, kimia, dan sifat lainnya dari material curah dapat terjadi.

- Objek semikonduktor atau logam dengan satu dimensi dalam kisaran 1 hingga 100 nm disebut **sumur kuantum** (*quantum well*).
- Objek dengan dua dimensi dalam kisaran ini adalah **kawat kuantum** (*quantum wire*).

- Objek dengan ketiga dimensi dalam kisaran ini adalah **titik kuantum** (*quantum dot*).

Kata *kuantum* dalam nama-nama ini menunjukkan peran kunci yang dimainkan oleh mekanika kuantum dalam menentukan sifat-sifat material tersebut.

1.2 Latar Belakang Sejarah Mekanika Kuantum

Perkembangan mekanika kuantum dimulai pada tahun 1900 dengan studi Planck tentang cahaya yang dipancarkan oleh padatan yang dipanaskan.

1.2.1 Sifat Cahaya

Pada tahun 1803, Thomas Young memberikan bukti meyakinkan untuk **sifat gelombang cahaya** dengan mengamati difraksi dan interferensi ketika cahaya melewati dua lubang jarum yang berdekatan. Pada tahun 1864, James Clerk Maxwell memublikasikan **persamaan Maxwell** yang menyatukan hukum listrik dan magnetisme, yang memprediksi bahwa muatan listrik yang dipercepat akan memancarkan energi dalam bentuk **gelombang elektromagnetik**. Kecepatan yang diprediksi untuk gelombang ini sama dengan kecepatan cahaya yang diukur secara eksperimental, sehingga Maxwell menyimpulkan bahwa **cahaya adalah gelombang elektromagnetik**.

Semua gelombang elektromagnetik bergerak dengan kecepatan $c = 2.998 \times 10^8$ m/s dalam vakum. Frekuensi ν dan panjang gelombang λ dari gelombang elektromagnetik saling terkait oleh:

$$\lambda\nu = c$$

Berbagai label konvensional diterapkan pada gelombang elektromagnetik tergantung pada frekuensinya (dalam urutan peningkatan frekuensi): gelombang radio, gelombang mikro, radiasi inframerah, cahaya tampak, radiasi ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma.

1.2.2 Radiasi Benda Hitam dan Kuantisasi Energi

Pada tahun 1890-an, para fisikawan mengukur intensitas cahaya pada berbagai frekuensi yang dipancarkan oleh **benda hitam** yang dipanaskan pada suhu tetap. Benda hitam adalah objek yang menyerap semua cahaya yang jatuh padanya (pendekatan yang baik adalah rongga dengan lubang kecil).

Pada tahun 1900, fisikawan **Max Planck** mengajukan rumus yang memberikan kecocokan yang sangat baik dengan data radiasi benda hitam pada semua frekuensi: $I = a\nu^3/(e^{b\nu/T} - 1)$. Untuk membenarkan rumusnya secara teoritis, Planck berasumsi bahwa total energi dari osilator harmonik dalam benda hitam (pemancar dan penyerap radiasi) yang memiliki frekuensi ν terdiri dari N "elemen energi" yang tidak dapat dibagi, masing-masing sebesar $h\nu$, di mana N adalah bilangan bulat dan h adalah **konstanta Planck**. Secara efektif, ini membatasi energi setiap resonator menjadi kelipatan bilangan bulat dari $h\nu$. Dengan demikian, energi setiap resonator **dikuantisasi**, yang berarti hanya nilai diskrit tertentu yang diizinkan untuk energi resonator.

Karya Planck dianggap sebagai penanda dimulainya mekanika kuantum. Nilai yang ditemukan Planck untuk konstanta Planck adalah $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s. Konsep kuantisasi energi ini bertentangan langsung dengan semua ide fisika sebelumnya, yang menyatakan energi dapat bervariasi secara kontinu (misalnya, mekanika Newton).

1.2.3 Efek Fotoelektrik dan Dualitas Gelombang-Partikel

Aplikasi kedua dari kuantisasi energi adalah pada **efek fotoelektrik**, di mana cahaya yang menyinari logam menyebabkan emisi elektron.

Dalam **pandangan gelombang** klasik, energi gelombang hanya bergantung pada intensitasnya, bukan frekuensinya. Oleh karena itu, energi kinetik elektron yang dipancarkan seharusnya meningkat seiring peningkatan intensitas cahaya, tetapi tidak berubah seiring perubahan frekuensi cahaya. Namun, pengamatan menunjukkan bahwa:

- Energi kinetik elektron yang dipancarkan **tidak bergantung pada intensitas** cahaya.
- Energi kinetik elektron yang dipancarkan **meningkat seiring peningkatan frekuensi** cahaya.

Pada tahun 1905, **Einstein** menjelaskan pengamatan ini dengan menganggap cahaya terdiri dari entitas seperti partikel yang disebut **foton**, dengan setiap foton memiliki energi:

$$E_{\text{foton}} = h\nu$$

Ketika elektron dalam logam menyerap foton, sebagian energi foton diserap untuk mengatasi gaya yang menahan elektron dalam logam (Φ , fungsi kerja logam), dan sisanya muncul sebagai energi kinetik (T) elektron yang dipancarkan:

$$h\nu = \Phi + T$$

Ini menunjukkan bahwa cahaya dapat menunjukkan **perilaku seperti partikel** selain perilaku seperti gelombang yang ditunjukkannya dalam eksperimen difraksi.

1.2.4 Model Atom Rutherford dan Kuantisasi Bohr

Penyelidikan menunjukkan bahwa atom dan molekul terdiri dari partikel bermuatan: **elektron** (negatif), **proton** (positif, 1836 kali lebih berat dari elektron), dan **neutron** (tidak bermuatan, sedikit lebih berat dari proton).

Pada tahun 1911, **Rutherford** mengusulkan model atom planet, di mana elektron berputar mengelilingi inti. Namun, model ini bermasalah karena menurut teori elektromagnetik klasik, partikel bermuatan yang dipercepat (elektron yang mengelilingi inti) akan terus memancarkan energi, menyebabkan elektron berputar spiral menuju inti, dan atom akan runtuh.

Pada tahun 1913, **Niels Bohr** menerapkan konsep kuantisasi energi pada atom hidrogen. Bohr berasumsi bahwa energi elektron dikuantisasi, dan elektron dibatasi hanya bergerak pada orbit lingkaran yang diizinkan. Ketika elektron bertransisi dari satu orbit ke orbit lain, sebuah foton dengan frekuensi ν diserap atau dipancarkan, di mana:

$$E_{\text{atas}} - E_{\text{bawah}} = h\nu$$

Meskipun teori Bohr berhasil menjelaskan spektrum hidrogen, ia gagal menjelaskan spektrum helium dan tidak dapat menjelaskan ikatan kimia dalam molekul. Kegagalan ini disebabkan oleh penggunaan mekanika klasik untuk menggambarkan gerakan elektron, padahal energi elektron dikuantisasi.

1.2.5 Hipotesis De Broglie

Karena kuantisasi terjadi dalam gerakan gelombang (misalnya, frekuensi fundamental dan nada atas dari dawai biola), **Louis de Broglie** pada tahun 1923 menyarankan bahwa gerakan elektron mungkin memiliki **aspek gelombang**. De Broglie mengajukan hipotesis bahwa elektron dengan massa m dan kecepatan v akan memiliki panjang gelombang λ yang terkait dengannya:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

di mana p adalah momentum linier. Persamaan ini diperoleh dengan menganalogi dari foton.

Hipotesis de Broglie secara eksperimental dikonfirmasi pada tahun 1927 oleh Davisson dan Germer yang mengamati efek difraksi ketika elektron dipantulkan dari logam. Pengamatan ini menunjukkan **dualisme gelombang-partikel** dari materi (dan cahaya). Elektron bukanlah gelombang maupun partikel seperti yang dipahami dalam fisika klasik, melainkan sesuatu yang lain.

1.3 Asas Ketidakpastian

Dualitas gelombang-partikel membatasi kemampuan kita untuk mengukur secara bersamaan koordinat x dan komponen momentum linier p_x dari partikel mikroskopis.

Dalam eksperimen difraksi partikel melalui celah dengan lebar w , ketidakpastian dalam koordinat x partikel adalah $\Delta x = w$. Karena sifat gelombang, partikel didifraksi oleh celah tersebut, menyebabkan penyebaran dalam komponen momentum x , Δp_x .

Werner Heisenberg menemukan **asas ketidakpastian** pada tahun 1927, yang secara kasar dinyatakan sebagai:

$$\Delta x \Delta p_x \approx h$$

Produk ketidakpastian dalam x dan p_x adalah sebanding dengan konstanta Planck. Tidak peduli upaya apa pun yang dilakukan, dualitas gelombang-partikel dari partikel mikroskopis membatasi kemampuan kita untuk mengukur posisi dan momentum partikel tersebut secara bersamaan. Semakin tepat kita menentukan posisi, semakin tidak akurat penentuan momentum kita, dan sebaliknya. Dalam mekanika kuantum, tindakan pengukuran itu sendiri menimbulkan gangguan yang tidak terkontrol pada sistem yang diukur.

1.4 Persamaan Schrödinger Bergantung Waktu

Mekanika klasik berlaku hanya untuk partikel makroskopis. Untuk "partikel" mikroskopis, kita memerlukan bentuk mekanika baru yang disebut mekanika kuantum.

1.4.1 Keadaan dalam Mekanika Klasik

Dalam mekanika klasik, gerak partikel diatur oleh hukum kedua Newton:

$$F = ma = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Dengan mengetahui posisi awal x_0 dan kecepatan awal v_0 pada waktu t_0 , kita dapat memprediksi gerak partikel di masa depan secara tepat. **Keadaan** dalam mekanika

klasik adalah spesifikasi posisi dan kecepatan setiap partikel sistem pada suatu waktu, ditambah spesifikasi gaya yang bekerja pada partikel. Mekanika klasik adalah **deterministik**.

1.4.2 Keadaan dalam Mekanika Kuantum

Asas ketidakpastian Heisenberg menunjukkan bahwa kita tidak dapat menentukan secara simultan posisi dan kecepatan yang tepat dari partikel mikroskopis. Oleh karena itu, kita harus puas dalam mekanika kuantum dengan sesuatu yang kurang dari prediksi lengkap tentang gerak masa depan yang tepat.

Untuk menggambarkan keadaan suatu sistem dalam mekanika kuantum, kita mendalilkan adanya fungsi Ψ dari koordinat partikel dan waktu, yang disebut **fungsi keadaan** atau **fungsi gelombang** (*wave function*). Untuk sistem satu partikel, satu dimensi: $\Psi = \Psi(x, t)$. Fungsi gelombang Ψ mengandung semua informasi yang mungkin tentang suatu sistem.

Untuk menemukan bagaimana fungsi gelombang berubah seiring waktu, kita mendalilkan persamaan yang ditemukan oleh **Erwin Schrödinger** pada tahun 1926, yang disebut **persamaan Schrödinger bergantung waktu**:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t)\Psi(x, t)$$

di mana $\hbar$ (dibaca h-bar) didefinisikan sebagai:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Dalam persamaan tersebut, $i = \sqrt{-1}$, m adalah massa partikel, dan $V(x, t)$ adalah fungsi energi potensial sistem. Persamaan ini memungkinkan kita untuk menghitung fungsi gelombang (keadaan) di masa depan pada waktu berapa pun, jika kita mengetahui fungsi gelombang pada waktu t_0 .

1.4.3 Interpretasi Fungsi Gelombang

Max Born mendalilkan bahwa untuk sistem satu partikel, satu dimensi, kuantitas:

$$|\Psi(x, t)|^2 dx$$

memberikan **probabilitas** pada waktu t untuk menemukan partikel di wilayah sumbu x yang terletak antara x dan $x + dx$.

Fungsi $|\Psi(x, t)|^2$ adalah **kepadatan probabilitas** (*probability density*) untuk menemukan partikel di berbagai tempat pada sumbu x .

- Kuantitas yang dapat diamati secara eksperimental adalah kepadatan probabilitas $|\Psi(x, t)|^2$, bukan $\Psi(x, t)$ itu sendiri.
- Mekanika kuantum bersifat **statistik**. Mengetahui keadaan, kita hanya dapat memprediksi probabilitas berbagai kemungkinan hasil pengukuran.
- Fungsi gelombang itu sendiri (yang dapat bernilai negatif dan kompleks) bukanlah kepadatan probabilitas.

1.5 Persamaan Schrödinger Tak Bergantung Waktu

Banyak aplikasi mekanika kuantum dalam kimia menggunakan persamaan Schrödinger yang lebih sederhana, yaitu **persamaan Schrödinger tak bergantung waktu**.

Persamaan tak bergantung waktu dapat diturunkan dari persamaan bergantung waktu untuk kasus khusus di mana energi potensial V tidak bergantung pada waktu, tetapi hanya pada koordinat x , yaitu $V = V(x)$.

$$-\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x) \Psi(x, t)$$

Kita mencari solusi yang dapat ditulis sebagai produk dari fungsi waktu $f(t)$ dan fungsi x , $\psi(x)$:

$$\Psi(x, t) = f(t)\psi(x)$$

Dengan substitusi dan pemisahan variabel, kedua sisi persamaan harus sama dengan suatu konstanta, yang kita sebut E (postulat bahwa E adalah **energi** sistem).

Menggabungkan bagian yang hanya bergantung pada x dengan konstanta E menghasilkan **persamaan Schrödinger tak bergantung waktu** untuk partikel tunggal bermassa m yang bergerak dalam satu dimensi:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

Solusi penuh untuk $\Psi(x, t)$ adalah:

$$\Psi(x, t) = e^{-iEt/\hbar} \psi(x)$$

Keadaan yang diwakili oleh fungsi gelombang ini memiliki **energi E yang konstan**.

Untuk keadaan seperti ini, kepadatan probabilitasnya adalah:

$$|\Psi(x, t)|^2 = |\psi(x)|^2$$

Karena kepadatan probabilitas tidak berubah seiring waktu, keadaan ini disebut **keadaan stasioner** (*stationary states*). Fungsi $\psi(x)$ disebut fungsi gelombang tak bergantung waktu.

Persamaan Schrödinger tak bergantung waktu mengandung dua besaran yang tidak diketahui: energi yang diizinkan E dan fungsi gelombang yang diizinkan ψ . Dengan menerapkan kondisi tambahan (disebut **kondisi batas** *boundary conditions*) pada ψ , hanya nilai-nilai E tertentu yang diizinkan, yang menentukan tingkat energi sistem.

1.6 Probabilitas

Probabilitas memainkan peran fundamental dalam mekanika kuantum.

1.6.1 Definisi dan Aturan

Definisi probabilitas secara umum:

- Jika sebuah eksperimen memiliki n hasil yang setara probabilitasnya, m di antaranya menguntungkan terjadinya peristiwa A , maka probabilitas A terjadi adalah m/n .

- Definisi alternatif: Jika eksperimen dilakukan N kali dan peristiwa A terjadi M kali, probabilitas A terjadi didefinisikan sebagai $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{M}{N}$.

****Teorema Probabilitas Gabungan:**** Probabilitas dua peristiwa A dan B keduanya terjadi adalah probabilitas A terjadi, dikalikan dengan probabilitas kondisional bahwa B kemudian terjadi (dihitung dengan asumsi A telah terjadi).

1.6.2 Probabilitas Variabel Kontinu

Dalam mekanika kuantum, kita berurusan dengan probabilitas yang melibatkan variabel kontinu, seperti koordinat x . Kita berbicara tentang probabilitas menemukan partikel dalam interval kecil dx antara x dan $x + dx$. Probabilitas ini adalah $g(x)dx$, di mana $g(x)$ adalah ****kepadatan probabilitas**** (probabilitas per satuan panjang). Mekanika kuantum mempostulatkan $g(x) = |\Psi|^2$.

Probabilitas bahwa partikel terletak dalam suatu wilayah ruang tertentu $a \leq x \leq b$ dihitung dengan mengintegrasikan kepadatan probabilitas:

$$\int_a^b |\Psi|^2 dx = \text{Pr}(a \leq x \leq b)$$

Karena pasti partikel berada di suatu tempat pada sumbu x (probabilitas 1), fungsi gelombang harus memenuhi persyaratan ****normalisasi****:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi|^2 dx = 1$$

Untuk keadaan stasioner, $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dx = 1$.

1.7 Bilangan Kompleks

Fungsi gelombang Ψ dan ψ dapat berupa bilangan kompleks, z .

1.7.1 Representasi dan Konjugat Kompleks

Bilangan kompleks z memiliki bentuk:

$$z = x + iy, \text{ di mana } i \equiv \sqrt{-1}$$

Di mana x adalah bagian riil ($\text{Re}(z)$) dan y adalah bagian imajiner ($\text{Im}(z)$), dan x dan y adalah bilangan riil.

- ****Nilai Mutlak (*Absolute Value*) atau Modulus:**** Jarak r dari titik z ke titik asal dalam bidang kompleks.

$$|z| = r = (x^2 + y^2)^{1/2}$$

- ****Fase (*Phase*) atau Argumen:**** Sudut θ yang dibuat oleh vektor radius ke titik z dengan sumbu horizontal positif. $\tan \theta = y/x$.

Bilangan kompleks dapat ditulis dalam bentuk polar:

$$z = r \cos \theta + ir \sin \theta = re^{i\theta}$$

di mana

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

****Konjugat kompleks**** z^* dari bilangan kompleks z didefinisikan sebagai:

$$z^* \equiv x - iy = re^{-i\theta}$$

Sifat-sifat penting:

- z adalah bilangan riil jika dan hanya jika $z = z^*$.
- Hasil kali bilangan kompleks dan konjugatnya adalah kuadrat dari nilai mutlaknya:

$$zz^* = x^2 + y^2 = r^2 = |z|^2$$

- Untuk hasil kali dan hasil bagi: $|z_1 z_2| = |z_1| |z_2|$ dan $\left| \frac{z_1}{z_2} \right| = \frac{|z_1|}{|z_2|}$.

Dengan demikian, untuk fungsi gelombang kompleks Ψ :

$$|\Psi|^2 = \Psi^* \Psi$$

1.8 Satuan

Buku ini menggunakan sistem satuan SI, di mana satuan panjang, massa, dan waktu adalah meter (m), kilogram (kg), dan detik (s). Gaya diukur dalam newton (N) dan energi dalam joule (J).

Hukum Coulomb untuk besarnya gaya F antara dua muatan Q_1 dan Q_2 yang dipisahkan oleh jarak r dalam vakum adalah:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

di mana ϵ_0 (permitivitas vakum) bernilai $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$.

1.9 Kalkulus

Beberapa rumus kalkulus dasar yang sering digunakan:

- **Turunan:**

$$\begin{aligned} \frac{dc}{dx} &= 0, & \frac{d(cf)}{dx} &= c \frac{df}{dx}, & \frac{dx^n}{dx} &= nx^{n-1}, & \frac{de^{cx}}{dx} &= ce^{cx} \\ \frac{d(\sin cx)}{dx} &= c \cos cx, & \frac{d(\cos cx)}{dx} &= -c \sin cx, & \frac{d \ln cx}{dx} &= \frac{1}{x} \\ \frac{d(f+g)}{dx} &= \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dx}, & \frac{d(fg)}{dx} &= f \frac{dg}{dx} + g \frac{df}{dx} \\ \frac{d}{dx} f(g(x)) &= \frac{df}{dg} \frac{dg}{dx} & & \text{(Aturan Rantai)} \end{aligned}$$

- **Integral:**

$$\int c f(x) dx = c \int f(x) dx, \quad \int [f(x) + g(x)] dx = \int f(x) dx + \int g(x) dx$$

$$\int dx = x, \quad \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \text{ untuk } n \neq -1, \quad \int \frac{1}{x} dx = \ln x$$

$$\int e^{cx} dx = \frac{e^{cx}}{c}, \quad \int \sin cx dx = -\frac{\cos cx}{c}, \quad \int \cos cx dx = \frac{\sin cx}{c}$$

- **Integral Tentu:**

$$\int_b^c f(x) dx = g(c) - g(b) \text{ di mana } \frac{dg}{dx} = f(x)$$

2 Ringkasan

Keadaan sistem mekanika kuantum dijelaskan oleh fungsi keadaan atau fungsi gelombang Ψ , yang merupakan fungsi dari koordinat partikel dan waktu. Fungsi keadaan berubah seiring waktu menurut ****persamaan Schrödinger bergantung waktu**** (Pers. 1.4.2).

Untuk sistem satu partikel, satu dimensi, $|\Psi(x, t)|^2 dx$ memberikan probabilitas bahwa pengukuran posisi partikel pada waktu t akan menemukannya antara x dan $x+dx$. Fungsi keadaan harus dinormalisasi, $\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi|^2 dx = 1$.

Jika fungsi energi potensial sistem tidak bergantung pada waktu, sistem dapat berada dalam salah satu ****keadaan stasioner**** dengan energi tetap E . Untuk keadaan stasioner, $\Psi(x, t) = e^{-iEt/\hbar} \psi(x)$, di mana fungsi gelombang tak bergantung waktu $\psi(x)$ adalah solusi dari ****persamaan Schrödinger tak bergantung waktu**** (Pers. 1.5). Kepadatan probabilitas untuk keadaan stasioner, $|\Psi|^2 = |\psi|^2$, tidak berubah seiring waktu.

3 Daftar Pustaka

1. Atkins, P. W., & De Paula, J. (2014). *Atkins' Physical Chemistry* (10th ed.). Oxford University Press.
2. Levine, I. N. (2014). *Quantum Chemistry* (7th ed.). Pearson Education.
3. McQuarrie, D. A. (2007). *Quantum Chemistry* (2nd ed.). University Science Books.
4. Shankar, R. (1994). *Principles of Quantum Mechanics* (2nd ed.). Plenum Press.
5. Griffiths, D. J. (2016). *Introduction to Quantum Mechanics* (3rd ed.). Cambridge University Press.