

Teori Kuantum

A. PENDAHULUAN

- Teori kuantum** adalah teori fisika modern yang menjelaskan segala sesuatu yang tidak dapat dijelaskan oleh teori fisika klasik.
- Pengantar teori kuantum** antara lain radiasi benda hitam dan dualisme gelombang-partikel.

B. RADIASI BENDA HITAM

- Setiap benda** akan memancarkan energi berupa gelombang elektromagnetik (cahaya tampak) dalam bentuk radiasi kalor.
- Benda hitam** adalah benda yang menyerap sekaligus memancarkan radiasi kalor secara sempurna.
- Radiasi** dipancarkan oleh seluruh benda yang memiliki suhu, dan dipengaruhi oleh warna permukaan.
- Warna permukaan** mempengaruhi nilai emisivitas benda (e):
 - Nilai emisivitas benda berkisar $0 \leq e \leq 1$.
 - Warna hitam memiliki nilai $e = 1$,
 - Warna putih memiliki nilai $e = 0$.
- Intensitas radiasi (I)** adalah daya radiasi yang dipancarkan benda tiap satuan luas permukaan benda, dapat dirumuskan:

$$I = \frac{P}{A} \quad I = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

I = intensitas radiasi (Watt/m²)
 P = daya radiasi (Watt)
 A = luas permukaan benda (m²)
 e = koefisien emisivitas benda ($0 \leq e \leq 1$)
 σ = tetapan Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
 T = suhu mutlak benda (K)

- Daya radiasi (P)** adalah energi radiasi yang dipancarkan benda tiap satuan waktu, dapat dirumuskan:

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$$

- Energi radiasi (W)** adalah energi kalor berupa gelombang elektromagnetik spektrum cahaya tampak yang dipancarkan benda, dapat dirumuskan:

$$W = e \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A \cdot t \quad t = \text{waktu (s)}$$

- Hukum pergeseran Wien** (*Wien Displacement Law*) menjelaskan tentang hubungan intensitas dengan frekuensi atau panjang gelombang.

Jika suhu makin tinggi, maka pada intensitas radiasi maksimum, panjang gelombang (λ_m) atau frekuensi gelombang (f_m) akan bergeser.

dapat dirumuskan:

$$\lambda_m \cdot T = C$$

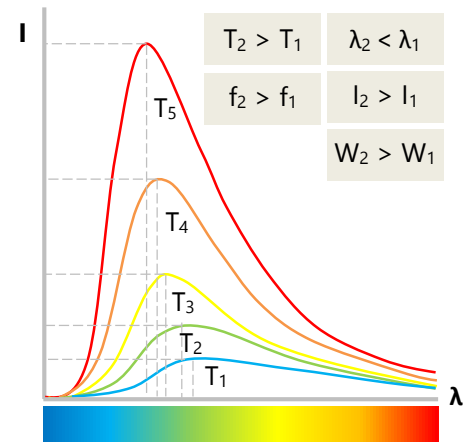
λ_m = panjang gelombang pada intensitas radiasi maksimum (m)

T = suhu mutlak benda (K)

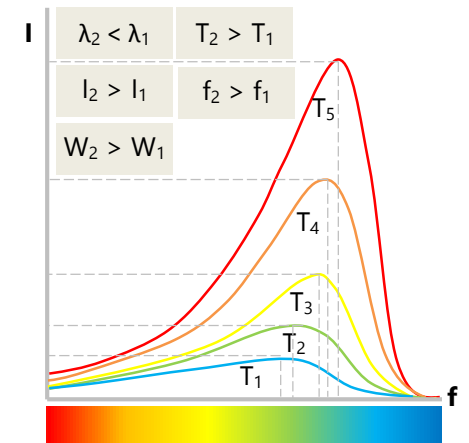
C = tetapan Wien ($2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{T}$)

- Grafik pergeseran Wien:**

- Panjang gelombang** (geser ke kiri)



- Frekuensi gelombang** (geser ke kanan)



C. DUALISME GELOMBANG-PARTIKEL

- Dualisme gelombang-partikel** adalah teori yang menjelaskan bahwa cahaya/gelombang dapat bersifat sebagai partikel, dan partikel dapat bersifat sebagai cahaya/gelombang.

- Dua pemikiran** tentang gelombang-partikel:

- Cahaya bersifat partikel**

Dikemukakan oleh teori Max-Planck, efek fotolistrik dan efek Compton.

- Partikel bersifat cahaya**

Dikemukakan oleh hipotesis de Broglie.

Teori Max-Planck menjelaskan bahwa:

Cahaya merupakan pancaran paket energi/kuantum energi yang terkuantisasi/diskret yang disebut **foton**.

Foton adalah bentuk cahaya sebagai partikel yang merambat lurus berkecepatan:

$$c = \lambda \cdot f = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Energi foton dipengaruhi oleh frekuensi gelombang, dapat dirumuskan:

$$E = h \cdot f \quad E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

E = energi foton (J)

h = tetapan Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Js)

f = frekuensi gelombang (Hz)

c = cepat rambat gelombang ($3,0 \times 10^8$ m/s)

λ = panjang gelombang (m)

Efek fotolistrik dikemukakan oleh Albert Einstein dan merupakan peristiwa tereksitasinya elektron dari logam akibat pancaran **energi foton**.

Energi ambang adalah energi foton minimum yang dibutuhkan untuk melepas satu partikel elektron tereksitasi dari logam, dapat dirumuskan:

$$E_0 = h \cdot f_0$$

E_0 = energi ambang (J)

h = tetapan Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Js)

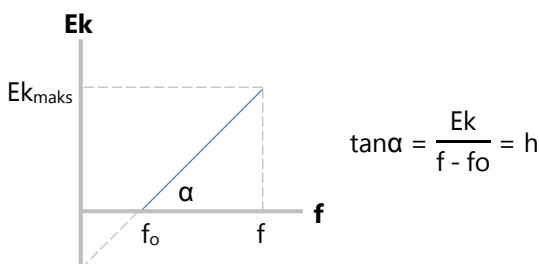
f_0 = frekuensi ambang (Hz)

Pada efek fotolistrik:

- 1) **Jika $E < E_0$** , maka tidak terjadi efek fotolistrik.
- 2) **Jika $E = E_0$** , terjadi efek fotolistrik sesaat, tidak ada energi kinetik yang terbentuk.
- 3) **Jika $E > E_0$** , terjadi efek fotolistrik, ada energi kinetik yang terbentuk.

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki elektron akibat bergerak.

Energi kinetik elektron dapat dirumuskan:



$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = h(f - f_0)$$

Potensial henti adalah nilai potensial listrik yang digunakan untuk membuat elektron yang sedang bergerak menjadi berhenti.

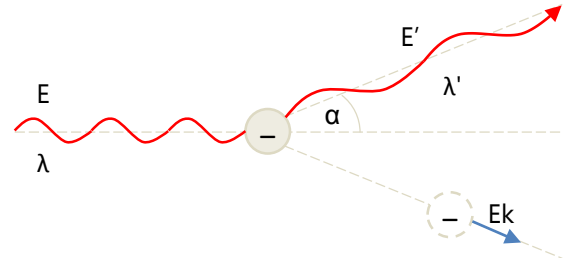
$$V = \frac{E_k}{e}$$

V = potensial henti (Volt)

E_k = energi kinetik elektron (J)

e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

Efek Compton merupakan kebalikan efek fotolistrik, yaitu peristiwa penghamburan foton akibat menumbuk elektron.



Momentum foton adalah nilai momentum yang terjadi ketika foton menumbuk elektron, dapat dirumuskan:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Pergeseran Compton adalah perubahan panjang gelombang yang terjadi akibat tumbukan foton dengan elektron, dapat dirumuskan:

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda \quad \Delta \lambda = \text{pergeseran Compton (m)}$$

$$\Delta \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \alpha)$$

m_0 = massa elektron diam ($9,1 \times 10^{-31}$ kg)

α = sudut belok terhadap arah awal

Pada efek Compton:

- 1) Energi foton bertambah ($E' > E$).
- 2) Panjang gelombang foton bertambah ($\lambda' > \lambda$).
- 3) Frekuensi foton berkurang ($f' < f$).

Hipotesis de Broglie menjelaskan bahwa:

Partikel yang bergerak dapat memiliki sifat-sifat gelombang/cahaya dan panjang gelombang.

Panjang gelombang partikel dapat dirumuskan:

Partikel umum

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

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

p = momentum partikel (Ns)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan partikel (m/s)

Elektron

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eV}}$$

m_0 = massa elektron diam ($9,1 \times 10^{-31}$ kg)

e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

V = beda potensial (V)