

BAB 1

THERMODYNAMIKA

1. SUHU dan KALOR

Dalam kehidupan sehari-hari sangat banyak kita temukan penggunaan energi dalam bentuk kalor: misalnya untuk memasak, pendingin ruangan. Semua ini merupakan bentuk perubahan suhu yang terjadi.

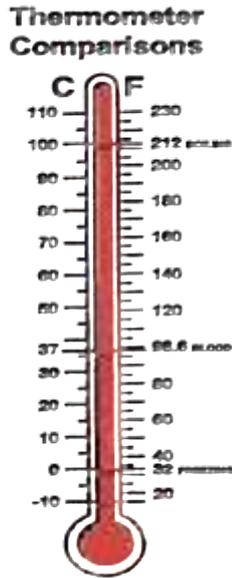
Suhu adalah derajat panas dinginnya suatu benda, alat untuk mengukurnya disebut termometer. Berdasarkan penemunya maka termometer terbedakan menjadi empat yaitu; termometer Celcius, termometer Reamur, termometer Fahrenheit, termometer Kelvin.

Sebongkah es dikatakan memiliki suhu rendah



Api dikatakan memiliki suhu tinggi





2. Pengukuran Suhu

Untuk dapat mengukur panas benda digunakan alat ukur yang disebut thermometer, karena ada empat macam thermometer, maka dengan hanya menggunakan satu alat saja, kita dapat juga menghitung jika digunakan alat ukur lain, inilah yang disebut konversi. Untuk dapat menjelaskan konversi, maka kita perlu membandingkan skala yang digunakan; jika digunakan thermometer celcius maka titik beku air 0° dan titik didih air 100° sehingga terbagi menjadi 100 skala, untuk thermometer Reamur titik beku air 0° dan titik didih air 80° sehingga terbagi menjadi 80 skala, untuk thermometer Fahrenheit titik beku air 32° dan titik didih air 212° sehingga terbagi menjadi 180 skala, sedangkan untuk termometer Kelvin titik beku air 273° dan titik didih air 373° sehingga terbagi menjadi 100 skala. Dengan membandingkan skalanya kita dapat mengkonversi dari satu alat ukur ke alat ukur yang lainnya.

$$C : R : F - 32 : K - 273 = 100 : 80 : 180 : 100$$

$$C : R : F - 32 : K - 273 = 5 : 4 : 9 : 5$$

Misalnya; pengukuran menggunakan thermometer celcius, berapa derajat jika menggunakan reamur; maka rumus yang digunakan adalah perbandingan skala antara

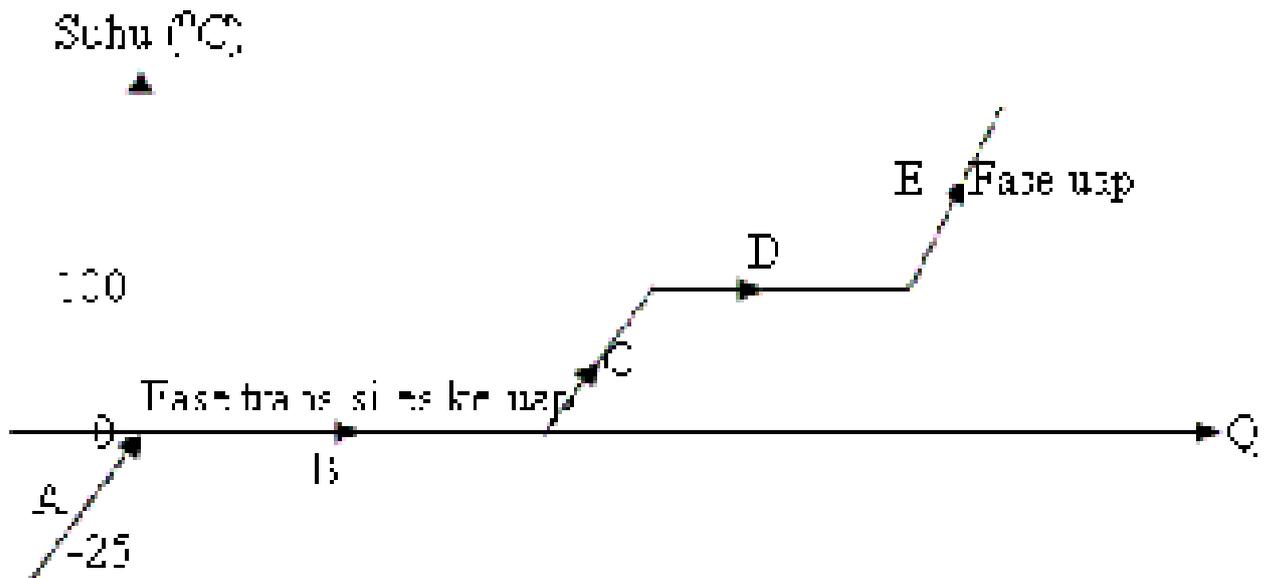
dua alat ukur tersebut; $C : R = 5 : 4$; $4C = 5R$, akibatnya $C = \frac{5}{4}R$ dan

sebaliknya.

Untuk thermometer celcius terhadap thermometer Fahrenheit, menggunakan rumus yang diturunkan dari perbandingan skala yang ada.

3. Perubahan Tingkat Wujud;

Telah diketahui bahwa sesungguhnya benda di alam ini terdiri atas tiga wujud, yaitu padat, cair dan gas. Ketiga wujud benda di alam tersebut disebut *tingkat wujud benda*. Ketiga wujud benda tersebut disebabkan karena adanya kalor yang diterima.



Apabila kita mengambil sebungkah es yang berupa padatan, kemudian kita letakkan kedalam gelas, kemudian kita amati, maka beberapa saat kemudian akan terlihat ada cairan. Jika diamati terus menerus maka seluruh es berupa padatan tersebut akan berubah menjadi cairan. Setelah itu jika cairan tersebut dipanaskan maka akan berubah menjadi uap, apabila uap tersebut dibiarkan terus hingga jenuh, maka akan terjadi pengembunan yaitu benda berwujud gas berubah menjadi cairan. Dengan kata lain telah terjadi perubahan tingkat wujud es, yaitu dari keadaan padat menjadi cairan, kemudian menjadi uap (gas), dan uap yang jenuh akan dapat berubah menjadi embun (cairan) dan seterusnya.

a. Kalor;

Kalor seringkali disebut energi panas, yang besarnya bergantung dari komponen suhu dan massa benda. Apabila benda yang massanya m berubah suhunya sebesar Δt , maka jumlah kalor yang diperlukan adalah;

$$Q = m c \Delta t$$

Dimana ; Q = jumlah kalor (kkal)

m = massa (kg)

c = kalor jenis benda (kkal/kg^oC)

Δt = perubahan suhu (°C)

Pada suhu 0^oC es mulai melebur menjadi air. Selama proses peleburan ini suhu tidak berubah, karena kalor diperlukan untuk melebur es dengan suhu 0^oC menjadi air seluruhnya pada suhu yang sama (0^oC). Setelah es melebur semuanya menjadi air dengan suhu 0^oC dan terus dipanaskan, maka air terlihat akan meningkat suhunya, hingga suhunya menjadi 100^oC baru berhenti peningkatan suhu tersebut.

Apabila air terus dipanaskan, maka terlihat mendidih. Selama mendidih suhu tetap menunjukkan angka 100^oC. Pada keadaan ini terjadilah proses penguapan air. Dengan kata lain air mulai berubah menjadi uap air. Keadaan suhu tetap tersebut akan bertahan selama pemanasan berlangsung hingga seluruh air berubah wujudnya menjadi uap air. Jika pemanasan berlangsung terus hingga menjadi suhu 150^oC, maka suhu uap air akan meningkat sesuai dengan peningkatan kalor.

b. Kalor Laten;

Kalor laten adalah kalor yang diperlukan untuk merubah wujud benda, didalam kalor laten ada yang disebut kalor lebur dan kalor uap.

Kalor Lebur; adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk merubah 1 kg zat pada titik leburnya dari keadaan padat menjadi keadaan cair. Bila kalor lebur zat disimbolkan dengan L_{es} , maka; $Q = m L_{es}$. Untuk es kalor leburnya sebesar 80 kkal/kg

Kalor uap; adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk mengubah wujud 1 kg zat pada titik didihnya dari keadaan cair menjadi gas. Bila kalor uap suatu zat disimbolkan dengan L_u , maka ; $Q = m L_u$; dimana besarnya kalor uap air = 540 kkal/kg.

4. kesetaraan Kalor dan Energi Mekanik

Pandangan lama mengatakan bahwa kalor adalah merupakan zat. Apabila dua buah benda saling disinggungkan maka menurut pandangan tersebut akan menjadi aliran zat dari benda yang satu ke benda yang lain.

Kemudian muncul pandangan baru yang dikemukakan oleh Rumford yang bertolak dari hasil pengamatannya terhadap pembuatan laras meriam. Dia mengambil kesimpulan bahwa kalor itu bukan zat.

Selanjutnya Joule dengan berbagai percobaannya mengatakan bahwa kalor adalah suatu bentuk energi. Oleh karenanya juga mematuhi hukum kekekalan energi. Apabila dua benda yang berbeda suhunya saling bersentuhan maka akan berlaku ketentuan bahwa kalor yang diterima oleh benda yang satu sama dengan jumlah kalor yang dikeluarkan atau diberikan oleh benda yang lain.

Sebuah percobaan memberikan hubungan antara kalor dan energi, angka yang diperoleh bahwa jumlah usaha yang dilakukan oleh beban yang jatuh adalah; 1 kkal timbul setiap 4.185 joule usaha yang dilakukan. Persamaan ini lebih dikenal dengan kesetaraan kalor mekanis. Dengan kata lain satu kalori setara dengan 4,186 joule.

5. Perpindahan Kalor

Perpindahan atau perambatan kalor kita kenal ada tiga macam, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

Konduksi

Berpindahnya kalor dari satu tempat ke tempat lain dengan cara tumbukan antar molekul, dengan laju aliran kalor

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{KA \Delta T}{L}$$

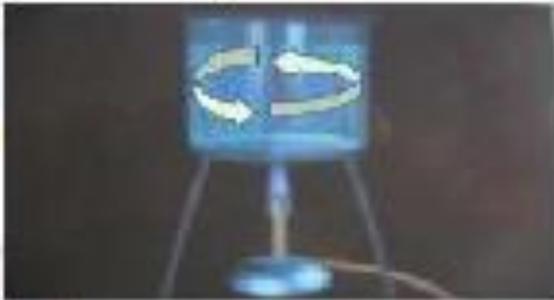
K = Konduktivitas termal (J/s.m.°C)
A = Luas penampang (m²)
T = Gedu (°C)
L = Tebal / panjang (m)



K besar → konduktor
K kecil → isolator

Konveksi
kalor ditransfer dari satu tempat ke tempat yang lain dengan pergerakan molekul, zat atau materi

Konveksi paksa



Sopandi air dipanaskan

Konveksi alami



Aliran udara panas/dingin dipantai
Arus samudra yang hangat/dingin karena perbedaan massa

Radasi
Kecepatan sebuah benda meradiasikan energi/ persamaan stefan-Boltzmann

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$$

ϵ = koefisien pemancaran
 $\epsilon = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
 A = Luas permukaan
 T = suhu

6. TEORI KINETIK GAS

a. Gas ideal

Teori Kinetik Gas pada dasarnya akan menjelaskan sifat-sifat gas ditinjau dari energi dan gaya antar partikel-partikel gas itu sendiri. Dalam hal ini kita tidak lagi memperhatikan kelajuan sebuah partikel saja, melainkan sifat-sifat atau kelajuan zat itu secara keseluruhan sebagai hasil rata-rata dari semua kelajuan partikel.

Teori kinetik gas ideal didasarkan atas beberapa anggapan:

- a. Gas ideal terdiri atas partikel (atom atau molekul) dalam jumlah yang besar sekali,
- b. Partikel itu tersebar merata dan bergerak secara random.
- c. Jarak antar partikel jauh lebih besar daripada ukuran partikel.
- d. Tidak ada gaya interaksi antar partikel-partikel itu kecuali selama tumbukan.
- e. Semua tumbukan, baik antar partikel-partikel gas itu sendiri maupun partikel gas dengan dinding selalu mengalami tumbukan elastis sempurna.
- f. Hukum Newton tentang gerak

Persamaan gas ideal

Yang dimaksud dengan gas ideal atau gas sempurna ialah gas yang dengan tepat memenuhi hukum Boyle dan hukum Gay-Lussac.

Diformulasikan :

$$\underline{PV = nRT}$$

Dimana harga p = tekanan, V = volume, n = jumlah mol gas, T = suhu dan

R konstanta gas umum = 8,314 joule/molK. Karena: $n = N/N_0$, maka $PV = (N/N_0) \cdot RT$ dan $R/N_0 = k$ sehingga $PV/T = Nk$

Harga N_0 = bilangan avogadro $6,06 \cdot 10^{23}$ partikel/mol

$$k = \text{Konstanta Bulk} (1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$$

Kemudian bahwa proses yang terjadi dalam gas ideal adalah

- a. Proses Isothermis (proses pada suhu tetap)
- b. Proses Isokhorik (proses pada volume tetap)
- c. Proses Isobaris (proses pada tekanan tetap)
- d. Proses Adiabatik (pada proses tersebut tidak terjadi pertukaran panas)

Menyangkut kecepatan gas ideal diformulasikan:

$$\begin{aligned} P &= N k T / V \\ &= 2/3 \cdot N / V \cdot E_k \end{aligned}$$

Dapat dikatakan bahwa besarnya $E_k = 3/2 K T$

Karena gerak translasi $E_k = 1/2 m v^2$

$$\text{Maka } v = \sqrt{\frac{3KT}{m}}$$

b. Prinsip Ekuipartisi Energi

Untuk partikel gas yang beratom tunggal dinyatakan bahwa,

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kT \text{ dan } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$$

Hasil ini dapat diamati dari distribusi maxwell kesimpulan apa yang didapat ?

Jika ditinjau gas beratom dua, selain melakukan gerak translasi, molekul gas dapat berputar dan mengalami vibrasi. Artinya bahwa molekul dapat berputar terhadap poros x dan poros y, dengan energi kinetik sebesar $\frac{1}{2} I_x \omega_x^2$ dan $\frac{1}{2} I_y \omega_y^2$, energi kinetik rotasi terhadap sumbu Z dapat diabaikan sebab momen inersia I_z kecil sekali. Tetapi sepanjang sumbu Z molekul mengadakan vibrasi. Untuk peristiwa vibrasi terdapat energi potensial $\frac{1}{2} k x^2$ dan energi kinetik $\frac{1}{2} m v_z^2$, jadi energi totalnya;

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_z^2) + \frac{1}{2} I (\omega_x^2 + \omega_y^2) + \frac{1}{2} k_0 x^2 + \frac{1}{2} m v_z^2 \\ &= E_{\text{translasi}} + E_{\text{rotasi}} + E_{\text{vibrasi}} \end{aligned}$$

Apabila dihitung harga rata-rata dengan distribusi maxwel Boltzman didapat besaran masing-masing gerak $\frac{1}{2} kT$. Jadi untuk gas yang beratom dua diperoleh $\frac{7}{2} kT$ dengan rincian bahwa untuk tiap bentuk energi yang timbul karena tiap gerak itu diperoleh $\frac{1}{2} kT$.

Bahkan dapat dibuktikan bahwa untuk tiap energi yang berbentuk kuadrat variabel diperoleh $\frac{1}{2} kT$ inilah yang disebut sebagai prinsip ekuipartisi energi. Partikel beratom dua ini mempunyai 7 derajat kebebasan : 3 translasi + 2 rotasi + 2 vibrasi, menurut prinsip ekuipartisi tiap derajat bebas memiliki energi rata-rata sebesar $\frac{1}{2} kT$.

c. Energi Dalam

Energi dalam adalah jumlah total energi kinetik seluruh partikel, dapat ditulis kembali; $E_k = \frac{3}{2} N kT$

$$= \frac{3}{2} n R T$$

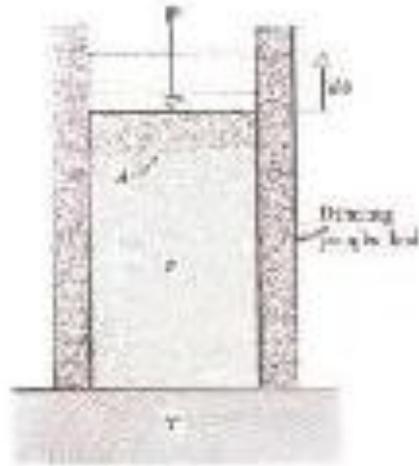
Hal ini terjadi untuk gas yang beratom tunggal (monoatomik) sedangkan untuk gas yang diatomik (beratom dua) akan mengikuti persamaan ekuipartisi energi. Sebab disamping mempunyai energi kinetik dan energi rotasi juga energi vibrasi, yang besarnya bergantung suhu.

Pada suhu rendah	$E_k = \frac{3}{2} n k T$	(3000K)
Pada suhu sedang	$E_k = \frac{5}{2} n k T$	(5000K)
Pada suhu tinggi	$E_k = \frac{7}{2} n k T$	(1000°K)

6. HUKUM TERMODINAMIKA I

a. Kerja Pada Sistem Gas

Tinjaulah suatu sistem yang terdiri atas gas ideal dengan jumlah tertentu, bebas dari medan dan tidak ada reaksi kimia yang terjadi didalamnya. Jika sistem itu terdiri dari gas yang terdapat dalam silinder tertutup oleh penghisap dan penghisap dapat bergerak bebas tanpa gesekan seperti pada gambar :



Apabila gas dipanaskan maka gas akan memuai dan mendesak penghisap keatas sejauh ΔS , dan selama proses tekanan konstan sebesar p , maka gas melakukan gaya sebesar ; $P = F/A$ sehingga $F = PA$.

Sedangkan besarnya usaha yang dilakukan oleh gas adalah :

$$\begin{aligned} W &= F \cdot \Delta S & W &= \text{usaha luas gas} \\ &= P \cdot A \cdot \Delta S & V &= \text{perubahan volume} \\ &= P \cdot \Delta V & P &= \text{tekanan gas} \\ dW &= P \cdot dV \end{aligned}$$

Jika ΔV positif, maka volume gas bertambah sehingga ΔW berharga negatif, artinya gas melakukan usaha terhadap sekelilingnya.

Jika ΔV negatif maka volume gas berkurang, sehingga ΔW berharga positif, artinya gas dikenai usaha terhadap sekelilingnya.

Proses perubahan gas dapat diamati dalam 4 keadaan

1. Jika tidak ada kalor yang merambat mengalami proses adiabatik.
2. Jika selama proses berlangsung suhunya tetap mengalami proses isothermis.
3. Jika selama proses tekanan tetap mengalami proses isobarik.

4. Jika selama proses volumenya tetap mengalami proses isokhorik.

Apabila ada dua dinding yang suhunya tidak sama, kemudian keduanya saling disentuhkan bila kedua dinding mengalami keseimbangan suhu dengan cepat, maka dinding tersebut dinamakan dinding diatermis. Dan jika kedua dinding mencapai keseimbangan suhu dalam waktu yang lambat maka disebut dinding adiabatik.

b. Hukum Kekekalan Energi

Bila kita berikan sejumlah panas kecil dQ pada suatu sistem, maka sistem tersebut akan berekspansi dan melakukan kerja luar yang kecil sebesar dW . Tetapi disamping itu pemanasan terhadap sistem juga akan menimbulkan hal berikut :

- a. Pertambahan kecepatan molekuler dari sistem.
- b. Pertambahan jarak antar molekul-molekul sistem karena sistem ekspansi.

Energi yang diperlukan untuk hal ini disebut pertambahan energi dalam (internal energi), maka persamaan energi sistem

$$dQ = dU + dW$$

Dimana ; dQ = Energi kalor ; dU = Perubahan energi dalam

dW = Perubahan usaha luar

c. Kapasitas Kalor Gas

Bila pada suatu sistem diberikan panas dQ hingga menaikkan temperatur sistem sebesar dT , maka perbandingan panas dQ dengan kenaikan temperatur dT disebut kapasitas panas (Heat Capacity) dari sistem. Bila kapasitas panas (Heat Capacity) disimbolkan C , maka $C = dQ/dT$ atau $C = (dU + dW) / dT$.

Kapasitas panas C persatuan massa m disebut panas jenis (spesifik heat) disimbolkan c . Dirumuskan $c = C/m$ atau $c = dQ/m dT$.

1. Kapasitas kalor gas pada volume tetap (C_v)

Untuk gas ideal berlaku $dW = p dV$, jika volumenya tetap maka $dW = 0$, sehingga

$$C_v = dU/dT = 3/2 Nk dT = 3/2 Nk \text{ atau besarnya } C_v = 3/2 n R.$$

Untuk gas diatomik;

Pada suhu rendah $C_v = 3/2 n R$

Pada suhu sedang $C_v = 5/2 n R$

Pada suhu tinggi $C_v = 7/2 n R$

2. Kapasitas kalor pada tekanan tetap (Cp)

Persamaan gas ideal ; $P V = n R T$, sehingga $V = n R T/P$

$$\text{Maka } V_1 = \frac{nRT_1}{P} \text{ dan } V_2 = \frac{nRT_2}{P}$$

Sehingga $dV = nR(T_2 - T_1)/P = nR dT/P$

Karena $C = dU / dT + dW / dT$, maka

$$\begin{aligned} C_p &= 3/2 n R dT/dT + pdV/dT \\ &= 3/2 nR + nR \\ &= 5/2 n R \end{aligned}$$

Untuk gas diatomik, besar kapasitas kalornya adalah :

Pada suhu rendah 300^0K ; $C_p = 5/2 n R$

Pada suhu sedang 500^0K ; $C_p = 7/2 n R$

Pada suhu tinggi 1000^0K ; $C_p = 9/2 n R$

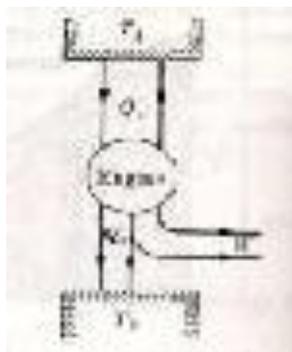
7. HUKUM TERMODINAMIKA

a. Kerja Oleh Mesin Kalor

Ramus Kelvin — Planck

Berbeda dari hukum pertama, hukum kedua ini mempunyai berbagai formula perumusan, kelvin mengetengahkan suatu perumusan demikian juga dengan planck mengemukakan perumusan yang lain. Karena pada hakekatnya perumusan kedua orang ini mengenai hal yang sama, maka perumusannya digabung dan disebut perumusan kelvin – planck untuk hukum kedua termodinamika. Perumusan itu diungkapkan “ tidak mungkin membuat sebuah pesawat yang kerjanya semata-mata menyerap dari sebuah reservoir dan mengubahnya menjadi usaha”.

Secara matematis dinyatakan $W = Q_1$



$$\text{efisiensi yang dihasilkan} = \frac{W}{Q_1} = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1}$$

$$\text{Sehingga dari persamaan tersebut, kita dapatkan } W = \frac{Q_1(T_1 - T_2)}{T_1}$$

T_1 = suhu tinggi dan T_2 = Suhu rendah

Rumusan Clausius

Oleh clausius hukum kedua termodinamika itu dirumuskan dengan pernyataan "tidak mungkin membuat pesawat yang hanya kerjanya menyerap kalor dari reservoir yang bertemperatur rendah dan memindahkan kalor ini ke reservoir tinggi, tanpa disertai perubahan lain."

Memindahkan kalor dari tempertur rendah ke temperatur tinggi kalau terus menerus akan membuat reservoir dingin menjadi lebih dingin lagi dan reservoir panas menjadi lebih panas lagi, untuk menjadi lebih panas lagi.

Untuk mesin pendingin besarnya usaha yang diperlukan;

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{W}{Q_2} \\ &= \frac{(T_2 - T_1)}{T_2} \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga } W = \frac{Q_2(T_2 - T_1)}{T_2}$$

$$\text{Dimana koefisien daya guna mesin pendingin adalah } K = \frac{T_2}{(T_1 - T_2)}$$

b. Siklus Carnot

Baik Clausius maupun Kelvin dan Planck menunjukkan bahwa suatu proses didalam mesin tidak mungkin terjadi secara ideal. Dari perumusan Kelvin – Planck telah diperoleh kesimpulan ketidakmungkinan membuat mesin yang mempunyai efisien 100%. Berapakah efisiensi maksimum yang dapat dicapai ? jawab pertanyaan ini kita dapatkan dari gagasan Sandy Carnot mengenai siklus Carnot.

Siklus carnot adalah suatu siklus yang ideal / sempurna dari suatu mesin kalor yang mengubah kalor menjadi usaha secara periodik (menurut lintasan tertentu).

Siklus itu terdiri atas

- ◆ Proses pemuaiian secara isothermis (AB)
- ◆ Proses pemuaiian secara adiabatiss (BC)

- ◆ Proses pemampatan secara isothermis (CD)
- ◆ Proses pemampatan secara adiabatik (DA)



Usaha yang dilakukan persiklus = luas daerah yang diarsir. Usaha yang dihasilkan setiap siklus besarnya : $W = Q_1 - Q_2$

Dimana Q_1 = kalor yang diterima gas

Q_2 = kalor yang dilepas gas

W = hasil usaha gas

Effisiensi mesin Carnot : $\eta = \frac{W}{Q_1} \cdot 100\%$

$$= \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} \cdot 100\%$$

c. Entropi

Dari siklus Camot (proses reversibel), kita telah pelajari bahwa; $\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$

Karena Q_1 tandanya positif (panas yang masuk sistem) dan Q_2 tandanya

(negatif panas yang keluar sistem) maka dapat dituliskan $-\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$ atau

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = \sum \frac{Q}{T} = 0$$

Jadi pada proses reversibel, jumlah perbandingan panas terhadap temperatur absolut =

0. Hasil ini berlaku untuk setiap proses reversibel, untuk proses melingkar reversibel

dapat ditulis : $\frac{dQ}{dt} = 0$

Untuk proses melingkar irreversibel : $\frac{Q_2}{T_2} \neq \frac{Q_1}{T_1}$

Dengan demikian dapat ditulis : $\frac{dQ}{dt} < 0$

Secara umum proses melingkar reversibel dan irreversibel dapat dituliskan $\frac{dQ}{dt} \leq 0$;

untuk tanda $<$ proses irreversibel dan tanda $=$ proses reversibel

Persamaan itulah yang dinamakan ketidaksamaan Clausius. Besaran $\frac{dQ}{dt}$ merupakan parameter entropi. Jadi entropi adalah perbandingan panas yang ditransfer selama proses reversibel dengan temperatur absolut sistem.

Bila sistem dan sekitarnya mempunyai hubungan energi, maka sistem dan sekitarnya selalu bertautan dalam perubahan entropi. Bila sistem mengalami perubahan entropi, maka sekitarnya juga turut mengalami perubahan entropi akibat hubungan energi tadi.

Jumlah perubahan entropi sistem dan sekitarnya disebut perubahan entropi keseluruhan (*Universe*). Untuk proses reversibel dan irreversibel hubungan ini ditulis dengan; $\Delta S_{\text{keseluruhan}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{sekitarnya}} \geq 0$

Bila sistem diisolasi, maka tidak ada hubungan energi dengan sekitarnya, sehingga entropi sekitarnya tetap konstan, atau $\Delta S_{\text{keseluruhan}} = 0$

Kesimpulan yang kita dapatkan;

- a. Entropi adalah fungsi keadaan sistem dan dapat digunakan sebagai parameter keadaan
- b. Entropi hanya bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir dari sistem (tidak bergantung pada lintasan proses)
- c. Pada perubahan (proses) adiabatik reversibel entropi sistem tetap konstan, tapi pada perubahan (proses) adiabatik irreversibel entropi sistem akan bertambah
- d. Pada ekspansi bebas irreversibel sistem tidak menyerap panas dan tidak melakukan kerja, tetapi perubahan entropi sistem sama seperti pada proses reversibel dan entropi sekitarnya tetap konstan
- e. Entropi dari suatu sistem yang diisolasi pada suatu proses tertentu akan bertambah atau konstan dan tidak pernah berkurang

- f. Total (jumlah) perubahan entropi suatu sistem dan sekitarnya pada suatu proses tertentu, akan sama dengan nol atau lebih besar dari nol.

LATIHAN 1

Dalam ruang tertutup dengan volume 30 m^3 terdapat 1500 mol gas ideal monoatomik. Energi kinetic tiap partikel $5.26 \cdot 10^{-24}$ Joule. Berapakah besar tekanannya.

Penyelesaian;

$$\text{Diketahui; } V = 30 \text{ m}^3$$

$$n = 1500 \text{ mol}$$

$$E_K = 5.26 \cdot 10^{-24} \text{ Joule}$$

Ditanyakan; $P = \dots\dots\dots$

Jawab: karena rumus; $P V = n R T$, $E_K = \frac{3}{2} k T$, $n = \frac{N}{N_0}$, $k = \frac{R}{N_0}$

$$\text{Maka } P = \frac{\frac{2}{3} E_K N}{V} = \frac{\frac{2}{3} E_K n N_0}{V}$$

Semua besaran diketahui sehingga P bisa ditentukan

LATIHAN 2

Tentukan kecepatan rata-rata molekul gas oksigen pada suhu 0°C , bila berat atom oksigen 16 dan massa sebuah atom oksigen $2. \cdot 10^{-27}$ kg.

Penyelesaian; Gunakan rumus $V = \sqrt{\frac{3 k T}{m}}$, ubah suhu dalam satuan kelvin.

LATIHAN 3

Gas ideal monoatomik tekanannya 1 atm dan suhunya 300K dan volumenya 3 m^3 .

Gas ini mengalami proses isokhorik sampai tekanannya menjadi $1.5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

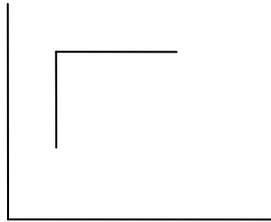
Kemudian mengalami proses dengan tekanan tetap (isobaric) sampai volumenya 4.5 m^3 . Tentukan:

- Lukiskan proses tersebut dalam grafik P-V
- Suhu gas pada tiap-tiap akhir proses

- c. Usaha total yang dilakukan gas
- d. Kalor total yang diserap
- e. Perubahan energi dalam gas

Penyelesaian;

a.



- b. Proses Isokhor; $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$; pada saat proses isobar; $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$
- c. Proses Isokhor $w = 0$; pada saat proses isobar $w = P \Delta V$
- d. $dQ = dw + du$
 $= P \Delta V + 3/2 N k T$
- e. Perubahan energi dalam $du = 3/2 N k T$

LATIHAN 4

Sebuah mesin pendingin, mempunyai daya guna 20% dapat memindahkan 50.000 kal/jam dari dalam almari yang suhunya 4°C ke udara luar 27°C . Berapakah kalori yang dapat dipindahkan tiap jam, jika mesinnya ideal.

Jawab; $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} 100\%$

SOAL-SOAL

1. Berapakah jumlah kalor yang harus ditambahkan pada 4 kg air untuk meningkatkan suhunya dari 25°C menjadi 100°C .
2. Dua kilogram air pada suhu 40°C ditambah pada tiga kilogram air pada suhu 10°C . Berapakah suhu akhir dari campuran air tersebut.
3. Berapakah kalor harus ditambahkan pada 80 kg timah hitam yang suhunya 25°C agar melebur. (Kalor jenis timah hitam $130 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$, titik didihnya 330°C , dan kalor leburnya 24.600 J/kg)

4. 10 kg air yang suhunya 30°C dicampur dengan sebuah balok es yang suhunya 0°C . Berapakah jumlah es yang melebur.
5. Pada suhu berapakah kecepatan molekul gas oksigen sama dengan kecepatan molekul gas hydrogen pada suhu 27°C .
6. Didalam ruangan dengan volume 50.000 cm^3 , berisi gas oksigen dengan suhu 27°C dan tekanannya 140 atm ($1\text{ atm} = 10^5\text{ N/m}^2$). Berapakah massa gas, oksigen tersebut.
7. Didalam ruangan tertutup bersuhu 600K , didalamnya terdapat gas diatomic sebanyak 10 mol . Berapakah besar energi kinetik tiap-tiap partikel gas.
8. Didalam ruang yang berukuran $2 \times 8 \times 10\text{ m}^3$ terdapat 5.000 mol gas oksigen pada suhu 27°C , mengalami proses isobaric sehingga volumenya menjadi 2 kali semula. Tentukan suhu akhir dan energi dalam pada akhir proses.
9. Sebuah mesin carnot menyerap kalor 50 kkal dari reservoir yang bersuhu 800 K dan melakukan usaha $3 \times 10^4\text{ Joule}$. Tentukan suhu reservoir dinginnya.
10. Sebuah mesin carnot, reservoir suhu rendahnya 27°C , daya guna 40% . Daya guna akan diperbesar menjadi 50% . Berapakah suhu reservoir suhu tinggi harus dinaikkan.
11. Gas ideal monoatomik volume awalnya 2.5 m^3 , tekanannya 1 atm dan suhunya 250 K . Kemudian mengalami proses isokhorik tekanannya menjadi $2 \times 10^3\text{ N/m}^2$. Kemudian mengalami proses isobaric sampai volumenya menjadi 10 m^3 .
 - a. Lukiskan diagram P-V
 - b. Berapa suhu gas tetap akhir proses
 - c. Berapa usaha total
 - d. Berapa naiknya energi dalam gas.
12. Satu gram air dididihkan menjadi uap air 1.671 cm^3 dengan tekanan 1 atm . Berapakah usaha luarnya.
13. Sebuah mesin pendingin, mempunyai daya guna 20% dapat memindahkan 50.000 kal/jam dari dalam almari yang suhunya 4°C ke udara luar 27°C . Berapakah kalori yang dapat dipindahkan tiap jam, jika mesinnya ideal.
14. Sebuah tangki volumenya 0.05 m^3 , diisi oksigen pada tekanan tetap 200 atm . Berapakah volume gas itu saat tekanannya 1 atm

BAB II

GERAK GELOMBANG

1. Pendahuluan.

Dalam kehidupan sehari – hari kita ketahui bahwa jika kita menekan sebuah bel atau menghidupkan radio, bunyinya akan terdengar pada tempat yang jauh. Bunyi itu tersebar melalui udara di sekelilingnya. Jika kita berada di pantai dan sebuah perahu yang sedang melaju melewati tempat itu, mungkin kita akan terkena ombak yang dihasilkannya. Jika sebuah lampu dihidupkan, ruangan yang di tempati lampu itu akan penuh terisi cahaya. Kita telah mengetahui pula bahwa sebagai hasil hubungan medan listrik dan medan magnet, dapat ditransmisikan suatu sinyal dari suatu tempat ke tempat yang lain. Meskipun masing – masing proses yang kita sebutkan di atas itu mempunyai mekanisme fisis yang berbeda, namun mereka itu memiliki ciri yang sama. Mereka adalah situasi fisis yang ditimbulkan pada suatu titik di dalam ruang, menjalar melalui ruang, yang akhirnya sampai pada suatu titik di tempat yang lain.

Sebagai contoh adalah permukaan bebas suatu cairan. Dalam hal ini fisisnya adalah pergeseran atau simpangan masing – masing titik pada permukaan tersebut relatif terhadap bentuk kesetimbangannya. Dalam keadaan setimbang, permukaan bebas cairan bersifat datar dan horizontal. Untuk menentukan mekanisme dipenalaran dan kecepatannya kita harus menganalisis, bagaimana simpangan suatu titik pada permukaan itu memberikan pengaruh pada bagian diam yang lain dari permukaan tersebut. Dari analisis ini kita menyusun persamaan – persamaan gerak proses yang kita tinjau itu. Persamaan ini memungkinkan kita untuk memperoleh informasi kuantitatif tentang variasi gangguan itu terhadap waktu. Dalam bab ini pertama akan kita bicarakan sifat – sifat umum gerak gelombang dan kemudian memandang jenis – jenis gelombang yang khusus. Sebagian besar contoh kita akan berkaitan dengan gelombang elastis di dalam zat. Kita tidak akan membicarakan struktur molekul materinya dan mengendalikannya sebagai suatu medium kontinyu. Pengandaian ini akan valid sepanjang fluktuasi gelombang itu besar jika dibandingkan dengan jarak antara molekulnya.

2 Deskripsi Gerak Gelombang

Marilah kita pandang suatu fungsi $\xi = f(x)$, yang secara grafik dinyatakan dengan kurva padat. Jika kita mengganti x dengan $x-a$ pada fungsi itu akan kita peroleh fungsi; $\xi = f(x-a)$

Nyatalah bahwa bentuk fungsi itu tidak berubah : harga – harga yang sama akan terjadi untuk harga – harga x yang dinaikkan sebesar a . Dengan kata lain, dengan mengandaikan a positif, kita melihat bahwa kurve itu tergeser ke kanan sejauh a tanpa deformasi. Demikian juga; $\xi = f(x+a)$; akan memberi arti bahwa kurve bergeser ke kiri sejauh a . Sekarang jika $a = vt$, di mana t menyatakan waktu, kita akan memperoleh kurve yang menjalar, yaitu; $\xi = f(x-vt)$; yang menyatakan kurve yang menjalar ke kanan dengan suatu kecepatan v , yang disebut kecepatan fase.

Demikian juga dengan fungsi ; $\xi = f(x+vt)$; yang menyatakan kurve yang menjalar ke kiri dengan kecepatan v . Maka dari itu kita bias menyimpulkan bahwa pernyataan matematis seperti :

$$\xi(x,t) = f(x \pm vt) \dots\dots\dots (1.1)$$

Cukup tepat untuk melukiskan suatu situasi fisis yang bergerak tanpa deformasi sepanjang sumbu x positif atau negatif. Besaran $\xi(x,t)$ dapat menyatakan sejumlah besar perubahan besaran – besaran fisis seperti deformasi suatu zat padat, tekanan di dalam gas, suatu medan listrik atau medan.

Suatu kasus khusus yang menarik adalah jika $\xi(x,t)$ merupakan suatu fungsi sinus atau fungsi harmonis seperti.

$$\xi(x,t) = \xi_0 \sin k(x-vt) \dots\dots\dots(1.2)$$

Basarnya k yang tertera itu mempunyai pengertian tersendiri.

Penggantian x dengan $x + (2\pi/k)$, memberikan harga $\xi(x,t)$ yang sama ;

$$\xi(x + 2\pi/k, t) = \xi_0 \sin k(x + 2\pi/k - vt)$$

Selanjutnya kita mendefinisikan; $\lambda = 2\pi/k \dots\dots\dots ..(1.3)$

Besar λ ini dinamakan panjang gelombang dan $k = 2\pi/\lambda$, menyatakan cacah gelombang dalam jarak 2π , yang disebut angka gelombang atau bilangan propagasi. Nama angka gelombang dipergunakan juga untuk $1/\lambda$ atau $k/2\pi$, yang menunjukkan cacah panjang gelombang persatuan panjang. Oleh karena itu

$$\begin{aligned} \xi(x,t) &= \xi_0 \sin k(x-vt) \\ &= \xi_0 \sin 2\pi(x/\lambda - vt) \dots\dots\dots (1.4) \end{aligned}$$

Menyatakan gelombang sinus atau gelombang harmonis dengan panjang gelombang λ yang merambat ke kanan sepanjang sumbu x dengan kecepatan v. Persamaan (1.4.) dapat juga di tulis.

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin(kv \pm wt) \dots \dots \dots (1.5)$$

dimana

$$w = kv = 2\pi v / \lambda \dots \dots \dots (1.6)$$

merupakan frekuensi angular gelombang itu. Karena; $w = 2\pi / f$

dimana f sebagai frekuensi dari pada variasi keadaan fisis pada setiap titik, maka kita akan memperoleh suatu relasi yang sangat penting, yaitu;

$$\lambda f = v \dots \dots \dots (1.7)$$

yang menyambungkan panjang gelombang, frekuensi dan kecepatan perambatan. Jika P kita pergunakan untuk menyatakan periode osilasi pada suatu titik, yang ditentukan sebagai ; $P = 2\pi / w = 1 / f$; maka nyatalah bahwa kita dapat juga menulis persamaan

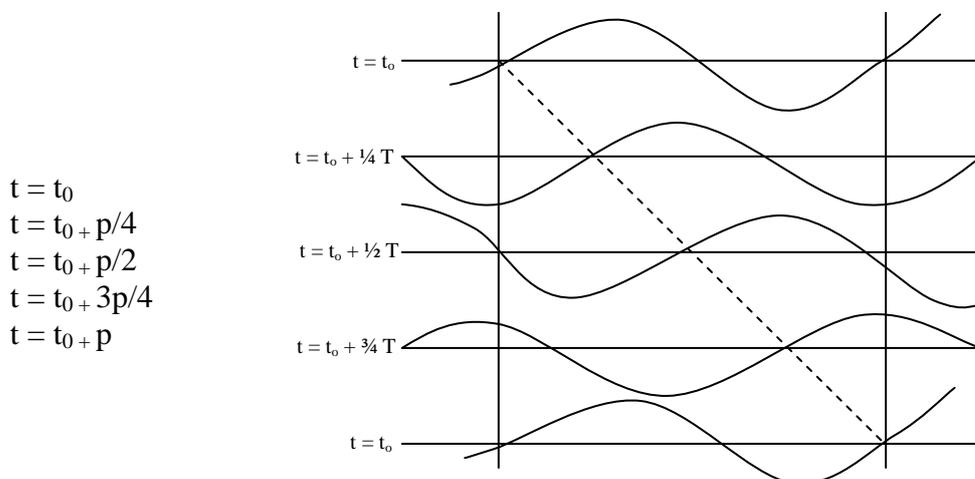
(1.4.) dalam bentuk : $\xi = \xi_0 \sin 2\pi(x / \lambda - t / p) \dots \dots \dots (1.8.)$

demikian juga;

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 \sin k(x + vt) \\ &= \xi_0 \sin(kx + wt) \\ &= \xi_0 \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{P} \right) \dots \dots \dots (1.9.) \end{aligned}$$

menyatakan suatu gelombang sinus atau gelombang harmonis yang bergerak searah dengan sumbu x negative.

Marilah kita lihat distribusi ruang dari $\xi(x,t)$ pada interval waktu yang berturutan. Pada saat – saat; $t_0, t_0 + 1/4P, t_0 + 1/2P, t_0 + 3/4P, t_0 + P$, fungsi $\xi(x,t)$ dapat dinyatakan dalam gambar 1.5. perlu kita catat bahwa sambil menjalar ke kanan keadaan fisis itu berulang di dalam ruang setelah satu periode.



Gb.1.5. rambatan gelombang harmonis ke kanan, dengan jarak tempuh λ dalam waktu T

Pemikiran ini muncul dari persamaan (1.7) yaitu ; $\lambda = v f = vT \dots\dots\dots (1.10)$ yang menunjukkan kepada kita bahwa panjang gelombang dapat dikatakan sebagai jarak yang ditempuh oleh gerakan gelombang selama satu periode. Oleh sebab itu, di dalam gelombang sinus kita mempunyai dua periodisitas: satu dalam waktu, yang ditentukan oleh periode T, dan satu lagi dalam ruang, yang dinyatakan sebagai panjang gelombang λ ; dan keduanya dihubungkan oleh: $\lambda = vT$.

Para pembaca dapat dengan mudah menunjukkan pernyataan lain untuk perjalanan gelombang (1.1) dalam bentuk lain sebagai;

$$\xi(x,t) = F(t \pm x/v)$$

yang seperti sebelumnya, tanda positif berhubungan dengan penjalaran searah x negative dan tanda negative searah x positif. Dengan demikian untuk suatu gelombang harmonis, kita dapat menulis pernyataan-pernyataan gerak harmonis (pernyataan-pernyataan dasar)

$\xi = \xi_0 \sin k(x \pm vt)$	$;\xi = \xi_0 \sin \omega (t \pm x/v)$
$\xi = \xi_0 \sin (kx \pm \omega t)$	$;\xi = \xi_0 \sin (\omega t \pm kx)$
$\xi = \xi_0 \sin 2\pi(x/\lambda \pm t/T)$	$;\xi = \xi_0 \sin 2\pi(t/T \pm x/\lambda)$
$T = 2\pi/\omega,$	$\lambda = 2\pi/k, \quad k = \omega/v$

3. Persamaan Umum Gerak Gelombang

Sebagai langkah berikutnya, marilah kita tinjau bagaimana menentukan persamaannya, jika suatu medan yang bergantung pada waktu merambat sebagai gelombang tanpa distorsi. Karena medan – medan yang bersangkutan dengan masing – masing posisi fisis dikendalikan atau diatur oleh hukum – hukum dinamika, maka kami bisa melihat akan adanya kemungkinan untuk mendapatkan suatu persamaan yang dapat diterapkan untuk semua jenis gerak gelombang. Selanjutnya, jika suatu saat kita melihat bahwa suatu medan tertentu sesuai atau memenuhi persamaan seperti itu, kita bisa yakin bahwa medan itu merambat melalui ruang dengan suatu kecepatan tertentu tanpa distorsi. Sebaliknya, jika dari eksperimen kita mengamati bahwa suatu medan merambat di dalam ruang dengan suatu kecepatan tertentu dan tanpa mengalami distorsi kita akan dapat melukiskan medan tersebut dengan sekumpulan persamaan yang kompatibel dengan persamaan gelombang yang di maksud.

Persamaan yang seringkali akan kita jumpai, yang melukiskan gerak gelombang dan merambat dengan suatu kecepatan v , tanpa distorsi, sepanjang sumbu $+x$ maupun $-x$ adalah :

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = v^2 \frac{d^2\xi}{dx^2} \quad (\text{Persamaan gelombang}) \dots\dots(1.11)$$

Persamaan ini disebut persamaan gerak gelombang. Penyelesaian umum persamaan ini seperti persamaan (1.1), yaitu ; $\xi(x,t) = f_1(x-vt) + f_2(x+vt) \dots\dots\dots(1.12)$

Jadi, persamaan umum persamaan (1.11.) dapat dinyatakan sebagai superposisi dua gerak gelombang yang merambat dalam arah yang berlawanan. Artinya ada dua buah gelombang sepanjang arah $+x$, dan gelombang sepanjang arah $-x$, contoh konkrit, yang fungsi gelombangnya merupakan satu fungsi sinus.

$$\xi = \xi_0 \sin k(x - vt)$$

Untuk lebih memahami gagasan dasar mengenai gerak gelombang, dalam bab ini dibicarakan beberapa jenis gelombang, baik yang sudah ataupun kurang dikenal oleh pembaca. Perlu di catat bahwa dalam gelombang – gelombang yang dibicarakan dalam pasal berikut, persamaan gelombang yang dihasilkan dari hukum – hukum dinamika proses yang bersangkutan dipandang dengan mengambil pendekatan – pendekatan tertentu, seperti amplitude yang kecil, panjang gelombang yang besar dan sebagainya. Maka dari itu, teori – teori yang berhubungan dengan persamaan (1.11.) dapat diterapkan hanya jika kondisi – kondisi pendekatan itu dipenuhi.

4. Jenis Gelombang

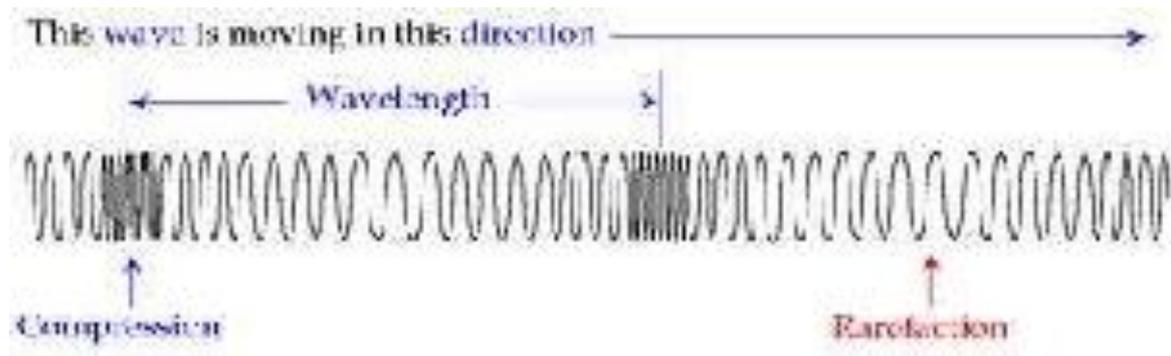
Berdasarkan media yang dilalui gelombang, maka jenis gelombang ada dua, yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik adalah gelombang yang didalam rambatannya memerlukan media, misalnya gelombang bunyi. Sedangkan gelombang yang dalam penjarannya tidak memerlukan media disebut gelombang elektromagnetik, misalnya gelombang cahaya.

Sementara itu berdasarkan arah geraknya, gelombang dibedakan menjadi dua yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal.

Gambaran gelombang transversal



Gambaran gelombang longitudinal



5. Sifat-sifat Gelombang

a. Superposisi Gelombang

Jika ada dua buah gelombang menjalar dalam suatu medium, maka gangguan total pada medium adalah jumlah gangguan oleh masing-masing gelombang. Sifat ini dikenal sebagai prinsip superposisi gelombang.

Prinsip ini berlaku umum untuk semua macam gelombang, selama gangguan yang disebabkan oleh gelombang tidak terlalu besar. Artinya jika simpangan yang telah terjadi pada gelombang tali oleh masing-masing gelombang sangat besar sehingga melewati batas elastisitas tali, maka simpangan total kedua gelombang ini tidaklah sama dengan jumlah simpangan oleh masing – masing gelombang. .

Sekarang bahasan kita batasi pada gelombang sinus.

1. Kita bahas dahulu dua buah gelombang sinus dengan frekuensi dan amplitude sama, menjalar pada arah dan dengan kecepatan yang sama tetapi mempunyai fase berlainan.

Fungsi gelombang dari kedua gelombang itu dinyatakan:

$$Y_1 = A \sin (kx - \omega t - \theta) \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_2 = A \sin (kx - \omega t) \dots\dots\dots(2)$$

Superposisinya:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

$$= A (\sin (kx-\omega t- \theta) + \sin (kx - \omega t))$$

Karena : $\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{1}{2} (A+B) \cdot \cos \frac{1}{2} (A-B)$

maka diperoleh:

$$Y = 2 A \sin (kx - \omega t - \theta /2) \cdot \cos \theta /2$$

$$= 2 A \cos \theta /2 \sin (kx - \omega t - \theta /2)$$

Hasil superposisi itu menghasilkan gelombang sinus, dengan amplitudo $2A \cos \theta/2$ dan perbedaan sudut fase sebesar $\theta/2$.

Y berharga maksimum jika $\theta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$

Jika keadaan semacam ini terjadi, maka dikatakan superposisi yang konstruktif

Apabila Y berharga minimum, maka $\theta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ keadaan semacam ini dinyatakan superposisi yang destruktif.

2. Superposisi dua buah gelombang dengan arah sama, frekuensi sama dan amplitudo yang berbeda.

Untuk mengatasi ini dapat juga digunakan diagram fasor, misalkan kita mempunyai dua buah gelombang;

$$Y_1 = A_1 \cos(kx - \omega t - \theta_1)$$

$$Y_2 = A_2 \cos(kx - \omega t - \theta_2)$$

Hasil superposisi gelombang dapat dinyatakan dengan

$$\begin{aligned} Y_R &= Y_1 + Y_2 \\ &= A_R \cos(kx - \omega t + \theta_R) \end{aligned}$$

Kita Pandang bahwa Y_1 dan Y_2 sebagai vektor, misalkan; $Y_1 = A_1 \cos(kx - \omega t - \theta_1)$, maka besarnya vektor Y, dinotasikan ;

$$Y_1 = A_1 \angle \theta \text{ dimana besarnya } \theta = kx - \omega t - \theta_1$$

Fungsi gelombang Y_1 taklain adalah proyeksi fasor Y_1 pada sumbu x. Dengan menggunakan fasor, superposisi kedua gelombang pada persamaan menjadi jumlah fasor; $\overline{Y_R} = \overline{Y_1} + \overline{Y_2}$

Jika dituliskan dalam diagram fasor

Panjang fasor A_R dan sudut fase θ_R untuk gelombang resultan (Y) dapat ditentukan bila diketahui A_1, A_2, θ_1 , dan θ_2

b. Perlayangan Gelombang

Jika dua buah gelombang dengan frekuensi berbeda dijumlahkan, hasilnya adalah suatu gelombang yang bentuknya berubah terus dengan waktu dan gelombang yang kita peroleh tidak lagi mempunyai bentuk sinus. Hasil superposisinya bukan fungsi sinus dan bentuknya bergantung pada hubungan fase antara kedua komponen

gelombang. Secara matematis dapat dibahas sebagai berikut;

$$\text{Misalkan } Y_1 = Y_m \sin (k_1 x - W_1 t)$$

$$Y_2 = Y_m \sin (k_2 x - W_2 t)$$

Hasil superposisinya ; $Y = Y_1 + Y_2$

$$Y = Y_m \sin (k_1 x - W_1 t) + Y_m \sin (k_2 x - W_2 t)$$

$$= 2 Y_m \left(\frac{(k_1 - k_2)}{2} x - \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{2} t \right) \text{Sin} \left(\frac{(k_1 + k_2)}{2} x - \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2} t \right)$$

Jika frekuensi kedua gelombang hampir sama,

$$\text{maka } \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2} = \omega \text{ sedangkan } \frac{(k_1 + k_2)}{2} = k$$

$$\text{Maka; } Y = 2Y_m \cos \left(\frac{k}{2} x - \frac{\omega}{2} t \right) \cdot \sin(kx - \omega t)$$

Kita dapatkan suatu gelombang sinus dengan sudut fase $(kx - \omega t)$ dan amplitudo yang berubah dengan waktu dan tempat, besarnya

$$2Y_m \cos \left(\frac{k}{2} x - \frac{\omega}{2} t \right)$$

Gelombang bunyi yang terlukis seperti pada grafik akan terdengar berubah-ubah kenyaringannya secara periodik. Peristiwa ini disebut perlayangan gelombang.

Gelombang y disebut gelombang pembawa dengan frekuensi W dan bilangan gelombang k . Sedangkan amplitudonya berbentuk fungsi gelombang yang disebut gelombang modulasi. Jadi gelombang hasil superposisi sebagai suatu gelombang pembawa dengan frekuensi sudut W dan bilangan gelombang k , ditumpang dengan gelombang modulasi frekuensi $\frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2} = \omega$ dan bilangan gelombang $\frac{(k_1 + k_2)}{2} = k$

Bahwa frekuensi perlayangan yang terjadi haruslah duakali frekuensi gelombang modulasi, atau : $W \text{ perlayangan} = W_1 - W_2$.

c. Pantulan dan transmisi gelombang pada tali

Misalkan kita mempunyai dua macam tali yang kita sambungkan, dan kedua tali mempunyai rapat massa yang berbeda. Pada saat tali kita tegangan dan salah satu tali kita jalarkan sebuah pulsa gelombang yang menjalar ke arah sambungan.

Pada saat pulsa sampai pada sambungan, maka ada pulsa gelombang yang menjalar terus pada tali kedua dan ada juga pulsa yang berbalik menjalar pada tali pertama.

Gelombang yang menjalar terus pada tali kedua disebut gelombang transmisi dan gelombang yang dikembalikan disebut gelombang pantul

(gelombang refleksi). Mengapa pulsa gelombang refleksi mempunyai simpangan terbalik ?. Dapat diikuti pada pembahasan berikut;

1. Pantulan ujung terikat

Pada tali yang salah satu ujungnya terikat maka gelombang pantul mempunyai simpangan yang berlawanan dengan simpangan gelombang datang atau dikatakan bahwa gelombang pantul mempunyai fase yang berlawanan dengan fase gelombang datang. Akibatnya jika suatu pulsa gelombang sampai pada ujung terikat, tali akan melakukan reaksi, sehingga simpangan tali pada ujung terikat selalu nol.

Andaikan kita mempunyai gelombang datang berbentuk sinus pada tali.

$Y_D = A \sin (kx - \omega t)$, agar pada titik ikat mempunyai simpangan $(x) = 0$, maka gelombang pantul haruslah mempunyai bentuk:

$$Y_P = A \sin (-kx - \omega t) \text{ atau } Y_P = A \sin (-kx - \omega t + 180)$$

Jadi untuk gelombang sinus pembalikan fase pada gelombang pantul dapat dinyatakan sebagai tambahan sudut fase sebesar 180° pada fase gelombang pantul.

Hasil superposisi gelombang datang dan gelombang pantul pada ujung terikat adalah:

$$\begin{aligned} Y &= Y_D + Y_P \\ &= A \sin (kx - \omega t) + A \sin (-kx - \omega t + 180) \\ &= A \sin (kx - \omega t) + A \sin (kx + \omega t) \\ &= 2 A \cos \omega t \sin kx \end{aligned}$$

Persamaan ini bukanlah persamaan gelombang menjalar.

Simpangan pada tali Y merupakan hasil superposisi gelombang datang dan gelombang pantul, artinya bahwa seluruh bagian tali bersama melakukan gerak harmonik, gelombang semacam ini disebut gelombang stasioner (gelombang berdiri).

2. Pantulan pada ujung bebas

Pantulan pada ujung ini memberikan gelombang pantul tanpa ada pembalikan fase

Andaikan ada gelombang datang pada tali yang ujungnya bebas berbentuk sinus, maka persamaan gelombang datangnya adalah:

$$Y_D = A \sin (kx - \omega t)$$

Maka gelombang pantul oleh ujung bebas yang diberikannya berbentuk;

$$Y_P = + A \sin (-kx - \omega t)$$

Tanda + menyatakan bahwa pantulan oleh ujung bebas tidak

menyebabkan perubahan fase. Hasil superposisi kedua gelombang memberikan simpangan; $Y = Y_D + Y_P$

$$\begin{aligned}
 Y &= A \sin (kx - Wt) - A \sin (kx + Wt) \\
 &= 2 A \cos kx. \sin Wt \\
 &= 2 A \sin Wt \cos kx
 \end{aligned}$$

Persamaan ini menyatakan suatu gelombang stasioner yang pada ujung bebas simpangannya terbesar.

3. Pantulan dan transmisi pada sambungan

Apa yang ter adi jika suatu gelombang datang pada titik sambungan antara dua tali?. Jika tali pertama mempunyai rapat massa ρ_1 , dan tali kedua mempunyai rapat massa ρ_2 , karena tegangan kedua tali ini sama, maka kecepatan jalar gelombang pada kedua tali ini berbanding lurus;

$$\begin{aligned}
 v_1 : v_2 &= \sqrt{\frac{T}{\rho_1}} : \sqrt{\frac{T}{\rho_2}} \\
 v_1 : v_2 &= \sqrt{\frac{1}{\rho_1}} : \sqrt{\frac{1}{\rho_2}}
 \end{aligned}$$

Secara umum dapat dikatakan bahwa gelombang yang menjalar kedalam suatu medium lain yang kecepatan jalarnya lebih kecil akan dipantulkan terbalik pada batas kedua medium, sebaliknya jika gelombang datang dari suatu medium gerak (kecepatan jalarnya kecil), memasuki medium ringan (kecepatan jalarnya besar), maka gelombang ini akan mengalami pantulan tanpa perubahan fase pada batas kedua medium.

Untuk gelombang sinus dapat dicari hubungan antar amplitudo gelombang datang, gelombang pantul, dan gelombang transmisi.

Jika simpangan gelombang datang dinyatakan $Y_D (x,t)$, simpangan gelombang transmisi $Y_T (x,t)$, syarat kesinambungan pada titik sambungan dapat dituliskan sebagai :

$$Y_D + Y_P = Y_T \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial Y_d}{\partial x} + \frac{\partial Y_p}{\partial x} = \frac{\partial Y_t}{\partial x} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk gelombang sinus yang datang dari tali ringan (seperti pada ujung terikat), maka jika titik sambungan diambil $x = 0$ dapat dituliskan persamaan yang muncul sebagai berikut;

$$Y_D = A_D \cos(k_1 x - \omega t) \dots\dots\dots(4)$$

$$Y_P = A_P \cos(-k_1 x - \omega t + 180) \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_T = A_T \cos(k_2 x - \omega t) \dots\dots\dots(6)$$

Dan ketiga persamaan dapat artikan, bahwa :

$$A_D - A_P = A_T \dots\dots\dots(7)$$

$$k_1 A_D + k_1 A_P = k_2 A_T \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan 8 dapat dituliskan dalam bentuk lain;

$$\frac{\omega}{v_1} A_D + \frac{\omega}{v_1} A_P = \frac{\omega}{v_2} A_T \text{ atau } \frac{A_D}{v_1} + \frac{A_P}{v_1} = \frac{A_T}{v_2} \dots\dots (9)$$

Sehingga diperoleh; $A_T = 2 \frac{v_2}{v_1} A_D \dots\dots\dots (10)$

Dan harga $A_P = \frac{(v_1 - v_2)}{(v_1 + v_2)} A_D \dots\dots\dots(11)$

Jadi dapat dituliskan bahwa pada tali ringan menjalar gelombang ;

$$Y'(x,t) = A' \cos(k_1 x - \omega t)$$

Maka pada sambungan dengan tali berat akan terjadi gelombang pantul:

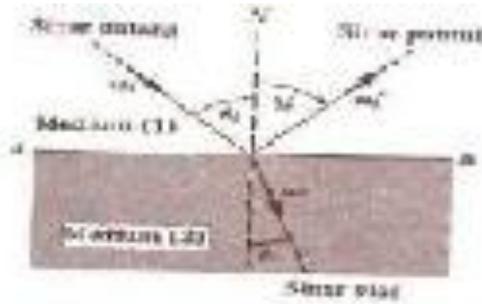
$$Y_P = \frac{(v_1 - v_2)}{(v_1 + v_2)} A' \cos(-k_1 x - \omega t)$$

Dan pada tali berat akan berjalan gelombang transmisi;

$$Y_T = \frac{2v_2}{(v_1 + v_2)} A' \cos(k_2 x - \omega t)$$

d. Hukum Snellius

Apabila gelombang cahaya datang mengenai bidang batas medium, maka gelombang cahaya itu akan dibelokkan (dibiaskan). Untuk menentukan arah gelombang cahaya yang diteruskan atau dibiaskan dapat diamati pada gambar;



Hal ini memberikan kesimpulan, bahwa; $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

Hasil bagi antara $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ merupakan besaran konstan, seringkali disebut indeks bias.

Inilah yang seringkali disebut hukum Snellius.

Pemantulan sempurna terjadi apabila sudut datang lebih besar dari sudut bias.

e. Gelombang Bunyi

Intensitas gelombang bunyi di Udara.

Pada prinsipnya bahwa gelombang bunyi menjalar dalam dua macam gangguan udara. Yaitu simpangan longitudinal pada molekul-molekul udara dan gangguan pada tekanan udara.

Jika gelombang simpangan dinyatakan; $Y = Y_m \cos(kx - \omega t)$

Maka gelombang tekanan haruslah; $P = (k \rho_0 v^2 Y_m) \sin(kx - \omega t)$

Dimana ρ_0 sebagai rapat massa gas dalam keadaan seimbang. Ada perbedaan

fase 90° antara gelombang tekanan dan gelombang simpangan pada bunyi. Jadi

amplitude gelombang tekanan sebesar; $P_m = k \rho_0 v^2 Y_m$

Intensitas gelombang dinyatakan sebagai daya persatuan luas,

sehingga intensitas gelombang bunyi dapat dituliskan sebagai; $I = \frac{P_m^2}{2v\rho_0}$

Intensitas bunyi seringkali dinyatakan dalam decibel (db). Taraf intensitas dinyatakan;

$TI = 10 \log \frac{I}{I_0}$ dimana I_0 merupakan intensitas ambang, besarnya 10^{-12} watt/m².

f. Efek Doppler

Apabila terjadi perubahan frekuensi gelombang pada sumber bergerak, maka frekuensi bertambah besar jika sumber bergerak mendekat dan frekuensi berkurang jika sumber bergerak menjauhi kita. Peristiwa ini dikenal sebagai efek Doppler, yang dilontarkan oleh Christian Johan Doppler dari Austria.

Efek Doppler berdasarkan sifat umum gelombang akan terjadi pada setiap gelombang, apakah untuk gelombang bunyi, gelombang elektromagnetik maupun gelombang pada permukaan air.

Kita amati pada sumber bunyi, Doppler merumuskan;

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

dimana;

- f_p = frekuensi yang diterima pendengar
- v = kecepatan gelombang bunyi diudara
- v_p = kecepatan gerak pendengar
- v_s = kecepatan gerak sumber bunyi
- f_s = frekuensi sumber bunyi

Hal-hal yang perlu diperhatikan tentang berlakunya rumus Doppler adalah sebagai berikut;

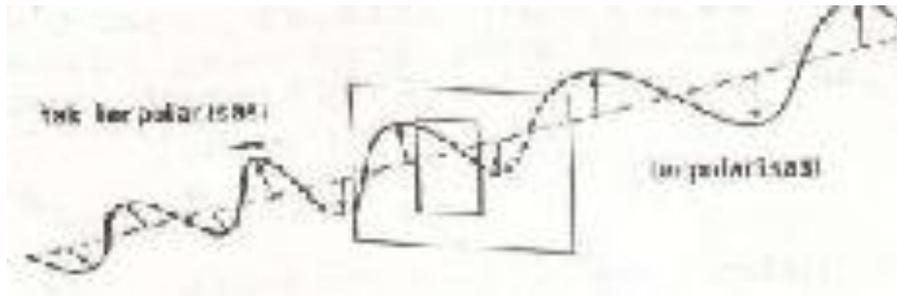
1. Sumber bunyi dan pendengar harus satu garis lurus (garis kerja)
2. Kecepatan sumber bunyi bila mendekati pendengar bertanda negative dan sebaliknya.
3. kecepatan pendengar mendekati sumber bunyi bertanda positif dan sebaliknya.

3. POLARISASI GELOMBANG

a. Jenis-jenis Polarisasi

Pengertian polarisasi hanya perlu untuk gelombang transversal. Dikatakan bahwa gelombang itu terpolarisasi linier, sebab gelombang transversal tersebut mempunyai sifat bahwa gerak medium dalam bidang tegak lurus arah jalar pada suatu garis lurus tertentu.

Gelombang tak terpolarisasi pada tali dapat dibuat terpolarisasi dengan sebuah celah;



Kita dapat membuat gelombang terpolarisasi linear pada tali dengan membuat agar sumber selalu bergetar pada garis lurus. Jika pada gelombang tali arah getar sumber berubah secara acak, maka simpangan tali dalam bidang tegak lurus tali tidaklah terbatas pada satu garis lurus saja, akan tetapi berubah arah secara acak pula. Gelombang semacam ini disebut gelombang takterpolarisasi.

Jika dalam membuat gelombang pada tali, tangan tidak kita gerakkan pada satu garis lurus, melainkan membuat *lingkaran*, maka suatu bagian tali dalam bidang tegak lurus arah jalar gelombang akan bergerak dalam suatu lingkaran, selanjutnya gelombang yang terjadi dikatakan terpolarisasi lingkaran.

b. Bias rangkap (Double Refraction)

Andaikan dua buah Polaroid yang diletakkan saling bersilangan akibatnya tidak ada sinar yang diteruskan, sekarang ambillah selembar selofan (kertas kaca jernih pembungkus rokok/permen) dan letakkan diantara kedua Polaroid itu, akan didapat bahwa cahaya akan diteruskan oleh Polaroid II (atau sering disebut analisator). Karena selofan tembus cahaya, maka jelas bahwa selofan tidak menyerap cahaya, satu-satunya yang mungkin bahwa selofan telah mengubah beda fase antara kedua komponen polarisasi pada gelombang.

Perubahan keadaan polarisasi ini dapat terjadi jika kedua komponen polarisasi mempunyai fase yang berbeda setelah cahaya menembus selofan, hal ini dapat diartikan bahwa kedua komponen polarisasi menjalar dengan kecepatan yang berbeda.

Jadi selofan mempunyai indeks bias yang berbeda setelah cahaya menembus selofan, hal ini dapat diartikan bahwa kedua komponen polarisasi linier, atau dengan kata lain indeks bias selofan bergantung pada arah polarisasi cahaya datang. Bahan semacam ini dikatakan mempunyai sifat bias ganda.

Arah polarisasi yang membuat indeks bias terbesar disebut sumbu pelan dan arah polarisasi yang memberikah indeks bias kecil disebut sumbu cepat.

Bahan yang mempunyai dua sumbu seperti ini disebut keping retardasi. Dalam keping retardasi komponen polarisasi cahaya pada arah sumbu lambat mempunyai indeks bias n_1 atau menjalar dengan kecepatan c/n_1 , sedangkan komponen polarisasi pada arah sumbu cepat mempunyai indeks bias n_2 atau menjalar dengan kecepatan c/n_2 . Setelah menempuh jarak d , komponen polarisasi pada arah sumbu cepat berubah fase sebesar; $\phi_c = k_c d = 2 \pi n_c \frac{d}{\lambda_c}$, dan komponen polarisasi pada arah sumbu lambat bergeser fase sebesar ;

$$\phi_l = k_l d = 2 \pi n_l \frac{d}{\lambda_o}, \lambda_o \text{ merupakan panjang gelombang cahaya diudara.}$$

Setelah menembus keping retardasi perbedaan fase kedua komponen polarisasi ini menjadi; $\delta = \phi_c - \phi_l = 2\pi d \frac{1}{\lambda_o} (n_c - n_l)$

Apabila cahaya terpolarisasi linear membentuk sudut 45^0 dengan sumbu lambat dan tebal keping d , dimana harga d besarnya; $d = \frac{\lambda_o}{4(n_c - n_l)}$ akibatnya $\delta = \frac{\pi}{2}$, maka cahaya yang keluar mempunyai polarisasi lingkaran. Keping retardasi dengan ketebalan ini disebut keping retardasi seperempat gelombang.

Jika tebal keping $d = \frac{\lambda_o}{2(n_c - n_l)}$, maka beda fase setelah menembus keping $\delta = \pi$, maka arah polarisasi berubah sebesar 90^0 . Keping retardasi semacam ini disebut keping setengah gelombang.

c. Aktivitas Optik

Apabila kita memiliki dua buah kaca Polaroid, dapat dilakukan percobaan berikut; Pertama isi gelas dengan dasar yang rata dan tembus cahaya dengan air gula kira-kira setinggi 5 cm. Letakkan sebuah lampu dibawah gelas, juga sebuah polaroid antara lampu dan gelas serta sebuah polaroid diatas gelas bersilang dengan polaroid dibawah gelas. Jika kita mengamati polaroid yang diatas gelas (sebagai analisator), maka akan kita amati bermacam-macam warna Artinya cahaya yang diteruskan oleh larutan gula tetap dalam keadaan polarisasi linear, hanya arah polarisasinya berubah arah. Kejadian ini disebut aktivitas optic. Dapat juga dijelaskan bahwa polarisasi linier yang disebabkan

polirimeter (polaroid yang terletak dibawah gelas) sebagai superposisi dari dua gelombang polarisasi lingkaran dengan arah putaran yang berlawanan.

Dapat juga dikatakan bahwa apabila sebuah gelombang elektromagnetik terpolarisasi melewati bahan-bahan tertentu, maka bidang polarisasinya, terputar. Rotasi bidang polarisasi inilah yang dimaksud dengan aktivitas optik. Bahan-bahan tertentu yang menghasilkan aktivitas optik hanya dalam keadaan padat saja.

LATIHAN 1

Gelombang merambat dengan kecepatan 20 m/s, dengan periode 12 s dan amplitudonya 8 cm. Suatu titik berada 1 m didepan sumber gelombang telah bergetar selama 10 s. Berapakah besar simpangan titik tersebut.

Penyelesaian;

Diketahui ; $v = 20$ m/s; $T = 12$ s; $A = 8$ cm = $8 \cdot 10^{-3}$ m; $x = 1$ m; $t = 10$ s

Ditanyakan; Simpangan titik pada saat 10 s

Jawab ; $\xi = \xi_0 \sin 2\pi(x/\lambda \pm t/T)$ dengan memasukkan harga-harga diatas maka dapat ditentukan besarnya simpangan.

LATIHAN 2

Dua buah gelombang dituliskan dalam ftingsi;

$$Y_1 = 20 \cos (kx - \omega t) \text{ dan } Y_2 = 20 \cos (kx - \omega t + 60)$$

Tunjukkan fungsi gelombang paduannya (superposisi gelombang)

Penyelesaian: Gunakan rumus ; $\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{1}{2}(a+b) \sin \frac{1}{2}(a-b)$

LATIHAN 3

Sebuah kereta bergerak dengan kecepatan 72 km/jam membunyikan peluit dari 700 Hz.

Kereta lain mendekat kereta pertama pada lintasan yang lain yang paralel dengan

kecepatan 54 km/jam membunyikan peluit dari 900 Hz. Kecepatan bunyi diudara 450 m/s. Tentukan;

- Frekuensi peluit kereta kedua yang didengar oleh penumpang kereta pertama.
- Frekuensi peluit kereta pertama yang didengar oleh penumpang kereta kedua.

Jawab : Gunakan persamaan ; $f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$

SOAL-SOAL;

- Sebuah gelombang berjalan dengan amplitude 8 cm memiliki periode 12 s dengan kecepatan gelombang 25 cm/s dan sumber telah bergetar selama 25 s, tentukan;
 - Simpangan suatu titik yang terletak 1 m dari sumber

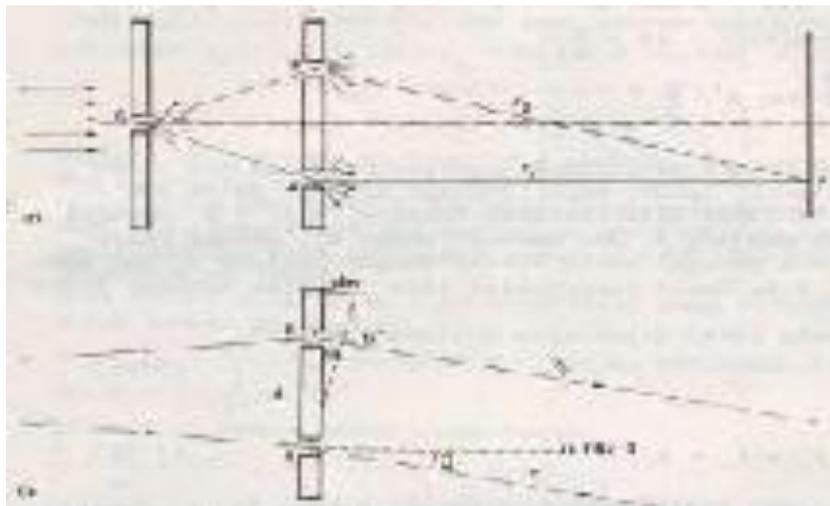
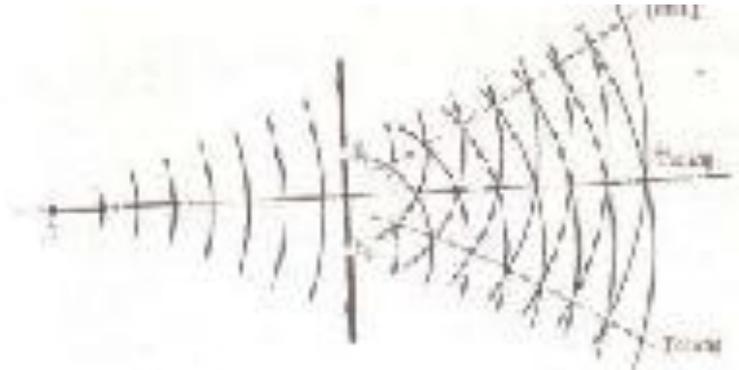
- b. Simpangan suatu titik yang terletak 2 m dari sumber
- c. Simpangan suatu titik yang terletak 50 cm dari sumber
2. Sebuah gelombang mempunyai persamaan $Y = 10 \sin 2\pi (2x - 100t)$, dimana x dalam meter dan t dalam second, tentukan; Amplitudo, panjang gelombang, frekuensi dan kecepatan merambat gelombang
3. Pandanglah sebuah saluran (kanal) dengan penampang lintang berbentuk segiempat dengan kedalaman 4 m. Tentukan kecepatan merambat gelombang dengan riak gelombang a. 1 cm ; b. 1 m ; c. 10 m ; d. 100 m. Gunakan perumusan yang cocok untuk masing-masing panjang gelombang itu, sesuaikan dengan ordenya. Air didalam kanal tersebut mempunyai tegangan muka $7 \cdot 10^{-2}$ N/m.
4. Tiga buah gelombang mempunyai fungsi;
 $Y_1 = 10 \cos (kx - wt)$, $Y_2 = 10 \sin (kx - wt)$, $Y_3 = 20 \cos (kx - wt + 45)$
 Tentukan fungsi superposisi gelombangnya.
5. Dua buah gelombang merambat dengan fungsi;
 $Y_1 = 15 \sin 2\pi \left(400t - \frac{x}{45} \right)$ dan $Y_2 = 15 \sin 2\pi \left(405t - \frac{x}{40} \right)$
 Tentukan;
 a. cepat rambat masing-masing gelombang
 b. Layangan yang terjadi tiap detik
6. Simpangan sebuah titik yang berjarak 4 m dari ujung bebas setelah $\frac{1}{6}$ s ialah $\frac{1}{2}$ amplitudonya. Berapakah panjang tali jika frekuensi penggetarnya 2 Hz dan cepat rambat gelombang 48 m/s.
7. Taraf intensitas bunyi sebuah mesin ketik 130 dB. Berapakah taraf intensitas bunyi 30 mesin ketik yang dipakai bersama-sama.
8. Sebuah tali yang panjangnya 9 m, salah satu ujungnya diikat kuat-kuat. Tali ini digetarkan oleh suatu penggetar yang periodenya 3 s. Amplitudo getaran 6 cm. Hitung simpangan sebuah titik yang berjarak $\frac{1}{2}$ m dari ujung tetap setelah tali bergetar 5 s, jika panjang gelombang yang terjadi 6 m.
9. Berapakah perbandingan intensitas dari sumber bunyi, jika taraf intensitas berbeda 8 dB.
10. Apakah yang dimaksud dengan aktivitas optik

BAB 3

GELOMBANG OPTIK

1. INTERVERENSI

a. Interferensi Young dan Fresnell



Suatu sumber cahaya monokromatik (s) memancarkan cahaya dan mengenai dua celah s_1 dan s_2 yang diletakkan sejajar terhadap s . jarak s_1 dan s_2 terhadap sumbu s sama besar. Dengan demikian s_1 dan s_2 berkelakuan sebagai sumber cahaya yang koheren. Karena jarak $s_1 M$ dan $s_2 M$ sama dan sinar berangkat sama dari s , dan s_2 maka gelombang cahaya tersebut tiba di M dengan fase yang sama, sehingga saling menguatkan (interferensi konstruktif) dan di titik M jadi terang bila sinar setelah tiba di M memiliki beda fase $1/2$, atau selisih jarak yang di tempuh $1/2 \lambda$,

maka getaran cahaya saling meniadakan (terjadi interverensi destruktif) dan akan terjadi garis gelap. Dari gambaran berikut dapat di simpulkan:

1. Jika selisih jarak yang di tempuh sinar sama dengan bilangan genap kali $\frac{1}{2} \lambda$ akan terjadi garis terang $\{(2n)\frac{1}{2} \lambda \}$
2. Jika selisih jarak yang ditempuhsinar-sinar sama dengan bilangan ganjil kali $\frac{1}{2} \lambda$ akan terjadi garis gelap $\{(2n-1)\frac{1}{2} \lambda \}$.

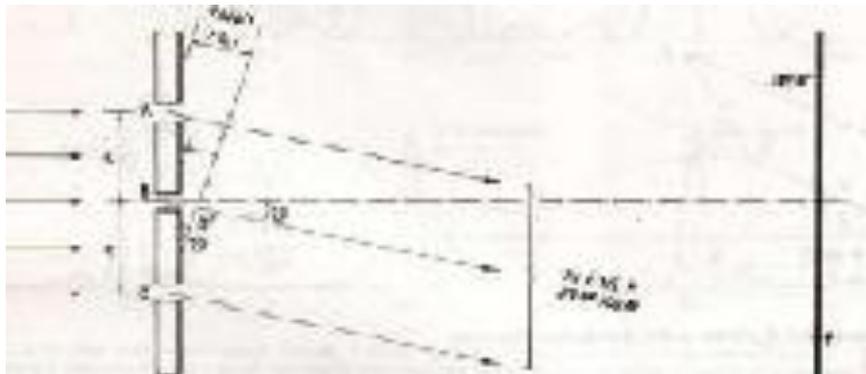
Selisih jarak yang ditempuh $s = pd/L$ sehingga secara umum dapat diformulasikan; terjadi garis terang apabila; $pd/L=(2n)\frac{1}{2} \lambda$. Terjadi garis gelap apabila; $pd/L=(2n-1)\frac{1}{2} \lambda$.

Dimana p = jarak antara terang pusat dengan terang ke N /gelap ke N ; j = jarak antara dua celah; L = jarak celah ke layar; N = orde dimulai dari 1, 2, 3, 4..... ; $N = 0$ terjadi terang pusat; λ = panjang gelombang.

2. Interverensi Celah Banyak

Suatu alat disebut kisi difraksi jika terbuat dari suatu bahan kaca yang permukaannya di goreskan garis-garis sejajar dengan jumlah yang sangat besar. Garis-garis antara dua goresan dapat dipandang sebagai celah.

Untuk memahami interferensi dengan celah banyak, baiklah kita mulai dengan membahas interverensi dari tiga buah celah,



Dalam hal ini kita mempunyai tiga buah gelombang yang sampai dititik p,

$$Y_A = A \cos (k_r A_r - wt)$$

$$Y_B = A \cos (k_r B_r - wt)$$

$$Y_C = A \cos (k_r C_r - wt)$$

Pada titik P terjadi superposisi ke tiga gelombang;

$$Y = Y_A + Y_B + Y_C$$

Jika titik p terletak cukup jauh dari celah (jarak $r \gg D$) maka sinar-sinar A_p , B_p , C_p dapat di anggap sejajar sehingga; $r \Delta r = rC_r + J \Delta r$ dan $rA_r = rC_r + 2 \Delta r$, dimana Δr sebanding dengan $D \sin \theta$. Dengan demikian sudut fase gelombang y_A sebesar;

$$\phi_A = k_r AB - \omega t = \phi_C + 2k_r = \phi + 2\delta, \text{ dimana } \delta = k r$$

Sudut fase ϕ_B adalah; $\phi_B = k_r AB - \omega t = \phi_C + kr = \phi_C + \delta$ dan untuk Y_C adalah

$$\phi_C = k_r C_r - \omega t .$$

Gelombang superposisi y dapat dituliskan;

$Y = A \cos(\phi_C + 2\delta) + A \cos(\phi_C + \delta) + A \cos(\phi_C)$ atau gelombang resultan y dapat juga dirumuskan; $Y = AB(\delta) \cos(\phi_C + \phi_B)$ dengan $AB(\delta)$ adalah amplitudo gelombang resultan yang harganya tergantung pada beda fase, δ dan (ϕ_C) adalah suatu tetapan. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan;

- a. Intensitas maksimum (garis terang) selalu terjadi pada beda $\delta = n(2\pi)$. Untuk jarak ke layar yang jauh lebih besar dari jarak antara dua celah, maka beda sudut fase δ antara dua celah yang berdekatan dapat dituliskan sebagai berikut;

$$\delta = kd \sin \theta = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) d \sin \theta .$$

Artinya bahwa tempat-tempat intensitas maksimum pada layar terletak pada arah-arrah

$$\theta \text{ yang diberikan oleh; } \delta = kd \sin \theta = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) d \sin \theta = n (2\pi)$$

$$d \sin \theta = n \lambda$$

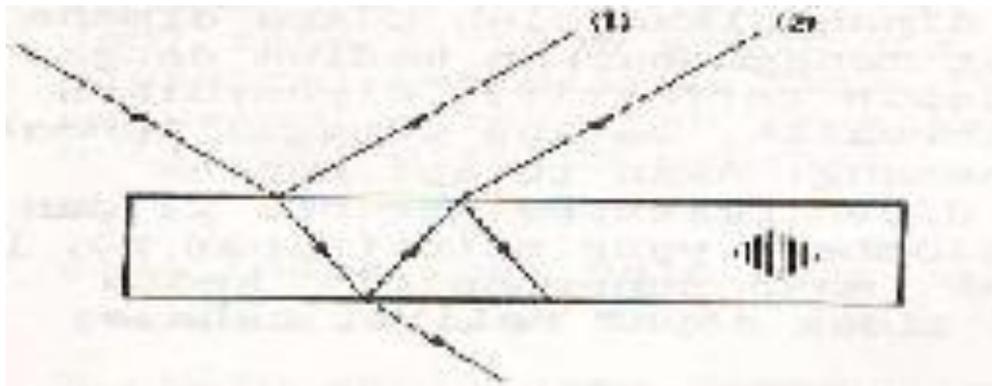
- b. Bahwa Intensitas minimum pertama setelah suatu maksimum selalu terletak pada harga δ yang berbeda sebesar $2n\pi$, dimana N merupakan banyaknya celah, dari harga untuk intensitas maksimum.

3. Interferensi Lapisan Tipis.

Dari pola-pola interferensi yang kita amati paling sering adalah pola interferensi yang terjadi pada selaput sabun yang tipis. Jika cahaya menembus selaput tipis, maka sebagian cahaya akan dipantulkan dan sebagian cahaya akan dibiaskan oleh permukaan L selanjutnya cahaya yang dibiaskan oleh permukaan I akan dipantulkan oleh permukaan II. Pantulan yang terjadi pada permukaan I dan II akan mengalami interferensi.

Apabila cahaya polikromatik jatuh pada selaput (lapisan tipis, maka suatu pola

berwama akan tampak).



Andaikan ada sinar monokromatik OA mengenai bidang batas A, maka AD sinar yang dipantulkan dan AB sinar yang dibiaskan permukaan I, BC sinar yang dipantulkan permukaan II. Sinar BC sebagian dipantulkan dan sebagian dibiaskan sejajar AD, sehingga sinar sejajar AD dan sinar AD sendiri merupakan sinar koheren dan jika mengenai mata (terlihat mata) akan berinterferensi di selaput jala.

Hasil interferensi dari kedua sinar itu bergantung dari selisih lintasan optik. Lintasan optik adalah hasil kali penunjuk bias (Indeks bias) dengan panjang jarak yang ditempuh sinar tersebut, secara matematis di tuliskan;

$$x = n(AB+BC)-(nAD+(1/2) \lambda \dots (1) ,$$

di A mengalami loncatan $1/2$ fase, yang berarti lintasannya bertambah $1/2 \lambda$. Hal ini disebabkan dengan pemantulan gelombang pada ujung tetap, karena sinar di A dipantulkan oleh zat yang indeks biasnya lebih rapat. Jika tebal selaput d, maka

$$AB=d/\cos r =BC$$

$$AD=AC \cos(90-i) = AC \sin(i)$$

$$AC=2d \tan i, \text{ sehingga } AD = 2d \tan i \cdot \sin i$$

Jika persamaan di atas di substitusikan dalam persamaan 1 akan di dapat;

$$x=2 n d \cos r - (1/2) \lambda$$

kesimpulan yang diperoleh

1. Jika tedadi titik terang (interferensi konstruktif)

$$X=(2n)1/2 \lambda$$

$$2n d \cos r - 1/2 \lambda = (2n)1/2 \lambda$$

$$2n d \cos r = (2n + 1)1/2 \lambda$$

2. bila terjadi titik gelap (interferensi destruktif)

$$x = (2n-1)1/2 \lambda$$

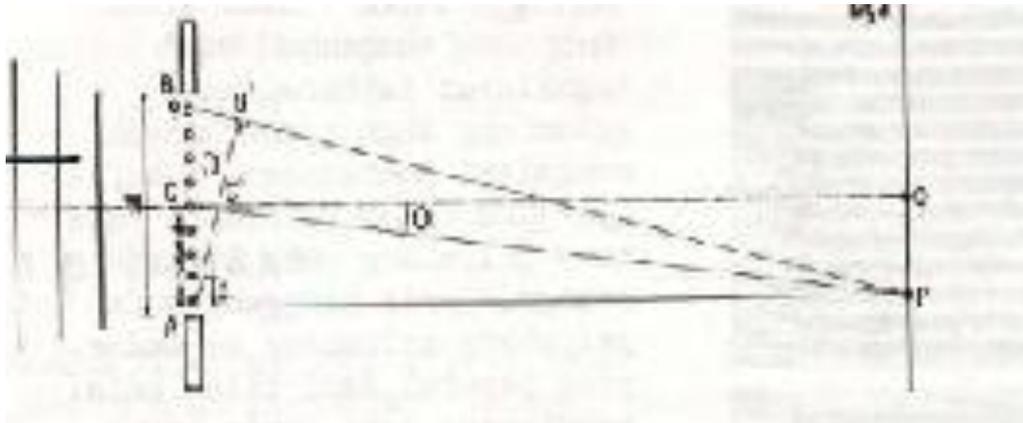
$$2n d \cos r - 1/2 \lambda = (2n-1)1/2 \lambda$$

$$2n d \cos r = (2n) \frac{1}{2} \lambda$$

4. Difraksi

Suatu sifat gelombang yang menarik adalah gelombang tersebut dapat dibelokkan oleh rintangan. Peristiwa difraksi merupakan pembelokan energi yang di bawa oleh gelombang ke daerah bayang-bayang. Sesuai dengan teorinya Hugen, kita dapat memandang difraksi sebagai interverensi sederet sumber titik yang memenuhi lebar celah.

Untuk mengamati peristiwa difraksi dapat kita lihat pada dua celah sempit.



Jika jarak S1 dan S2 sangat kecil yaitu hanya beberapa kali panjang gelombang saja, maka di daerah CD pada layar akan terjadi garis-garis gelap dan terang. Terjadinya garis gelap dan terang tersebut ditentukan oleh adanya peristiwa interverensi gelombang cahaya.

Misalkan titik M ditengah-tengah CD dan sinar dari S I dan S2 menuju M dengan jarak yang sama dan fase yang sama pula, maka titik M merupakan titik terang pusat.

Terjadinya garis-garis terang di sekitar M, jika $x = (2n) \frac{1}{2} \lambda$.

Terjadinya garis gelap disekitar M, jika $x = (2n + 1) \frac{1}{2} \lambda$, dimana x merupakan selisih jarak yang ditempuh, untuk perhitungan selengkapnya dapat diikuti pada percobaan Young

5. OPTIK GEOMETRIK

A. Teori Cahaya

1. Teori gelombang CHUSTIAN HUYGENS (1629-1695)

Pada dasarnya cahaya sama seperti gelombang bunyi, perbedaannya

hanya terletak pada frekuensi dan panjang gelombangnya. Karena gelombang bunyi merupakan gelombang mekanik maka dalam rambatannya memerlukan medium. Akibatnya karena cahaya sama dengan gelombang bunyi maka dalam perambatan cahaya memerlukan medium (eter alam)

2. Teori Emisi Sir Isaac Newton (1642-1727)

Sumber cahaya dipancarkan oleh partikel-partikel yang sangat kecil dan ringan , memancarkan kesegala arah dengan kecepatan yang sangat besar.

3. Eksperimen James Clark Maxwell (1831-1879)

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik dengan kecepatan $3 \cdot 10^8$ m/s

4. Teori kuantum Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947)

Energi cahaya merupakan paket-paket kecil yang disebut kuantum, teorinya sering dikenal dengan teori kuantum cahaya. Sedangkan energi kuantumnya disebut foton.

5. Teori Cahaya Albert Einstein (1879-1955)

Dengan adanya efek fotolistrik, maka cahaya memiliki sifat kembar (dualisme), yaitu bersifat sebagai gelombang dan bersifat sebagai materi

B. Pemantulan Cahaya

Hal penting yang perlu diperhatikan sebelum mempelajari tentang perlakuan dan pengukuran pada benda-benda optis, adalah perlu ditetapkannya perjanjian tanda untuk menentukan besarnya $S, S', h, R,$ dan f baik pada cermin maupun pada lensa.

Perjanjian tersebut antara lain:

- Cara mengukur $S, S', h, R,$ dan f dimulai dari bidang pemantul atau bidang pembias.
- S bertanda positif bila cara mengukurnya berlawanan dengan sinar datang, dan sebaliknya .
- S' bertanda positif bila cara mengukurnya searah dengan sinar pantul atau sinar bias dan sebaliknya.
- R dan f bertanda positif jika pengukuran searah dengan sinar pantul atau sinar bias.
- H dan h' bertanda positif bila posisinya tegak (tidak berbalik) pada sumbu utama

Hal penting yang perlu diperhatikan sebelum mempelajari tentang perlakuan dan pengukuran pada benda-benda optis, adalah perlu ditetapkannya perjanjian tanda untuk menentukan besarnya $S, S', h, R,$ dan f baik pada cermin maupun pada lensa.

Perjanjian tersebut antara lain:

- Cara mengukur $S, S', h, R,$ dan f dimulai dari bidang pemantul atau bidang pembias.
- S bertanda positif bila cara mengukunya berlawanan dengan sinar datang, dan sebaliknya .
- S' bertanda positif bila cara mengukurnya searah dengan sinar pantul atau sinar bias dan sebaliknya.
- R dan f bertanda positif jika pengukuran searah dengan sinar pantul atau sinar bias.

H dan h' bertanda positif bila posisinya tegak (tidak berbalik) pada sumbu utama

b.1 Hukum Pemantulan

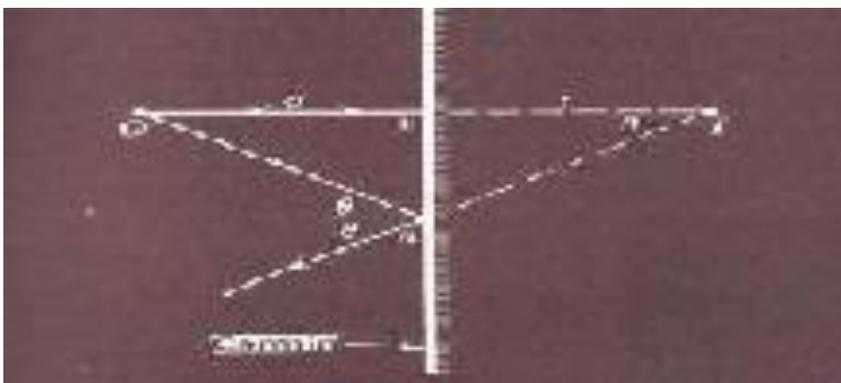
Seberkas cahaya yang mengenai suatu benda akan mengalami peristiwa pemantulan (refleksi).

Hukum Pemantulan :

- Sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada suatu bidang datar.
- Sudut datang sama dengan sudut pantul

Peristiwa pemantulan ini terjadi pada cermin, secara umum cermin terbedakan menjadi 3 , yaitu cermin datar, cermin cembung, dan cermin cekung.

b.2. Pembentukan bayangan pada cermin datar

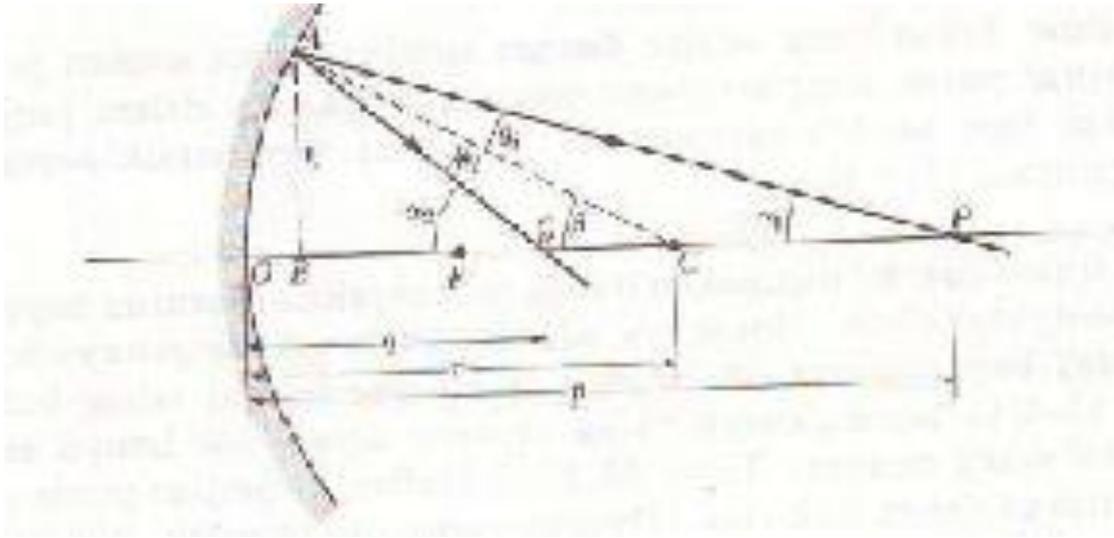


Berdasarkan hukum pemantulan maka: $\angle i = \angle r$ dan $\angle r = \angle r'$ dengan demikian

juga $\angle O_1 = \angle O_2$ karena OP berimpit. Oleh karena itu segitiga PBO ekuivalen dengan segitiga PB'O akhirnya diperoleh persamaan bahwa $S = S'$ dan $h = h'$. Dimana sifat bayangannya: maya, tegak, dan sama besar.

b.3. Pembentukan bayangan pada cermin cekung

Fokus cermin bertanda positif



Dari gambar dapat di lihat, berdasarkan hukum pemantulan : $\angle P_1 = \angle P_2$ sedangkan PC berimpit sehingga segitiga ACP ekuivalen dengan segitiga A'PC.

Secara matematis dapat dinyatakan dengan model perbandingan ruas sebagai berikut;

$$AC : AC' = AP : AP' \text{ dapat juga ditulis } (OA - OC) ; (OC - OA') = AP : AP'$$

Karena AP dan AP' merupakan sinar paraksial (sejajar sumbu utama), maka AP sebanding dengan OA dinyatakan sebagai S akibatnya persamaan diatas menjadi;

$$(S-R) : (R-S') = S : S'$$

$$R(S+S') = 2 SS'$$

$$\frac{S+S'}{SS'} = \frac{2}{R} \text{ karena } f = 1/2R, \text{ maka } S S' =$$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

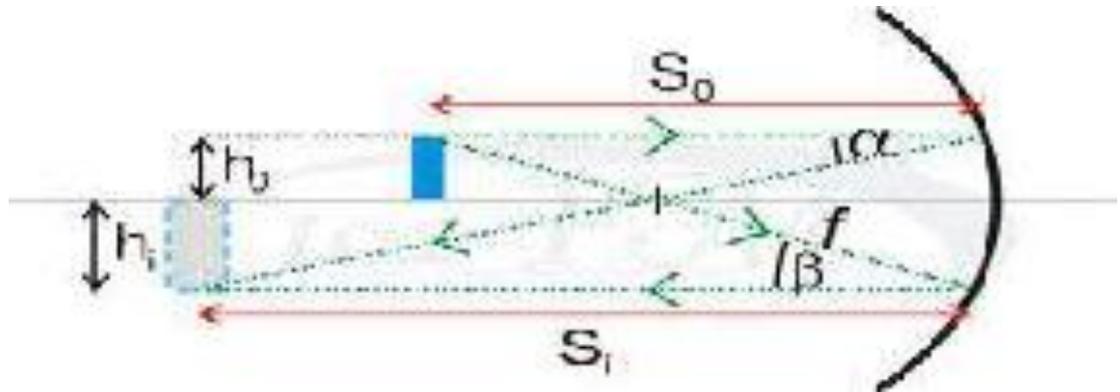
dengan perbesaran bayangan $M = S'/S = h'/h$

Jalannya sinar paraksial pada cermin cekung :

1. Sinar sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui fokus .
2. Sinar datang melalui fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.

3. Sinar datang melalui titik pusat kelengkungan cermin akan dipantulkan lewat titik itu lagi.

Sehingga bayangan yang terbentuk dapat digambarkan sebagai berikut;



b. 4. Pembentukan bayangan pada cermin cembung,

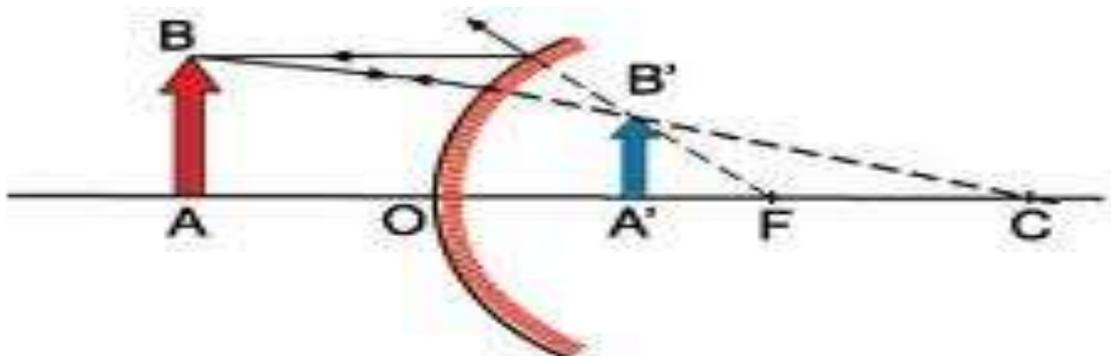
Pada prinsipnya sama seperti cermin cekung sehingga rumus yang digunakan akan mengikuti : $\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$

Hanya berbeda pada fokusnya, apabila cermin cembung pertanda negatif, sehingga persamaan diatas menjadi : $\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = -\frac{1}{f}$

Jalannya sinar paraksial pada cermin cembung:

- Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah dari fokus.
- Sinar datang menuju fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.
- Sinar datang menuju titik pusat kelengkungan cermin akan dipantulkan seolah-olah dari titik itu lagi.

Sehingga bayangan yang terbentuk dapat digambarkan sebagai berikut;



C. Pembiasan Cahaya

c.1 Hukum pembiasan

Jika cahaya datang pada bidang batas antar dua medium optik yang kerapatannya berbeda maka berkas cahaya tersebut akan mengalami pembiasan (refraksi). Ada tiga keadaan yang melewati bidang batas dengan kerapatan berbeda.

- Sinar datang dari medium optik rapat ke medium kurang rapat, sinar dibiaskan menjauhi garis normal
- Sinar datang dari medium optik kurang rapat ke medium rapat, sinar dibiaskan mendekati garis normal.
- Sinar datang dari medium manapun jika arahnya tegak lurus bidang batas maka sinar tersebut akan diteruskan.

Kemudian berdasarkan percobaan Snellius didapatkan hukum pembiasan, yaitu:

- Sinar datang, sinar bias dan garis normal terletak pada satu bidang datar.
- Perbandingan sinus sudut datang dan sudut bias merupakan bilangan yang konstan.

Sehingga hukum Snellius itu juga dirumuskan:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

dimana: i merupakan sudut datang,

r sudut bias

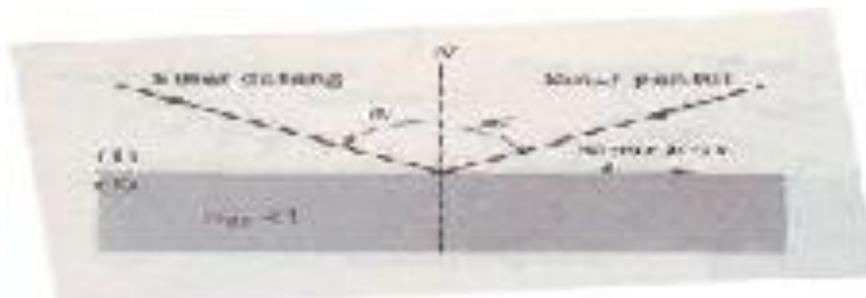
n indeks bias yang besarnya konstan.

c.2. pemantulan sempurna

Pemantulan sempurna terjadi bila:

- Sinar datang dari medium rapat ke medium kurang rapat.
- sudut datang lebih besar dari sudut batas.

Sudut batas adalah sudut datang yang memiliki sudut bias 90°



d. Pembentukan bayangan pada pembiasan

1. Macam — macam lensa

Lensa bikonvek (dua cembung)

Lensa bikonkaf (dua cekung)

Lensa konvek konkaf (cekung cembung)

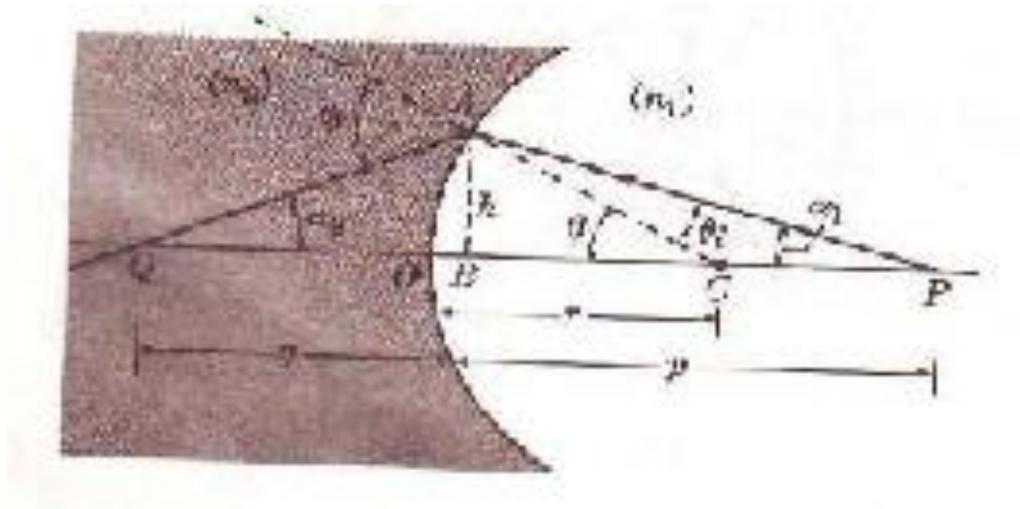
Lensa konkaf konvek (cembung cekung)

Lensa plm konvek (cembung datar) Lensa

plan konkaf (cekung datar)

2. Pembentukan bayangan pada permukaan lengkung

Berdasarkan hukum Snellius; $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_i}{n}$



AP adalah sinar paraksial maka AP berimpit dengan OP akibatnya; $i = \frac{n_i}{n} r$

Jika segitiga APC; $\angle A_1 + \angle p + \angle \beta = 180$

$$\angle p + \angle \beta = 180 - A_1$$

$$I + A_1 = 180$$

$$\angle I = 180 - \angle A_1$$

Sehingga persamaan diatas menjadi; $\angle p + \angle \beta = \angle I$ atau $i = \alpha + \beta$

Kemudian bentuk persamaan akhir adalah

$$\frac{n}{S} + \frac{n' h}{nS} = \frac{(n' - n)}{R}$$

dimana harga n = indeks bias medium sinar datang

n' = indeks bias medium sinar bias

s = jarak benda

s' = jarak bayangan

R = jari-jari kelengkungan

Apabila permukaan lengkungnya dua maka disebut lensa sehingga persamaan di atas menjadi $n/s + n'/s' = 2(n'-n)/R$. fokus lensa (f) = $1/2 R$. sehingga jika lensa di udara, maka persamaan diatas menjadi

$$1/s + 1/s' = 1/f$$

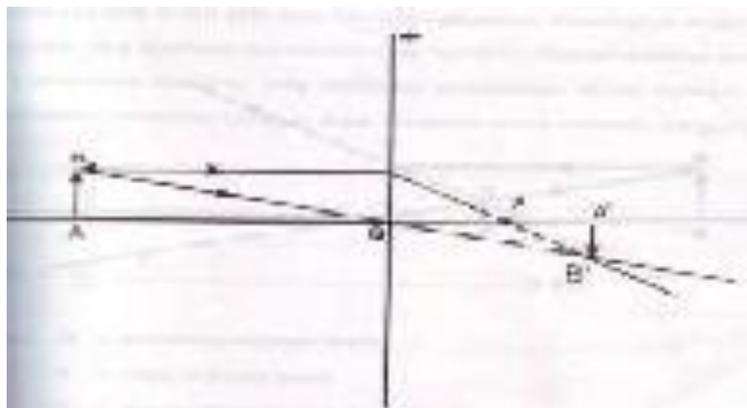
E. Sinar-sinar paraksial pada lensa cembung

Lensa cembung disebut juga lensa positif, karena fokusnya

Bertanda positif. Jalannya sinar yang dapat diamati sebagai berikut

1. sinar datang sejajar sumbu utama, akan dibiaskan melalui fokus ke dua
2. sinar datang melalui fokus akan dibiaskan sejajar sumbu utama
3. sinar datang lewat titik pusat optik akan diteruskan

Contoh penerapan sinar paraksial untuk pembentukan bayangan pada lensa cembung;

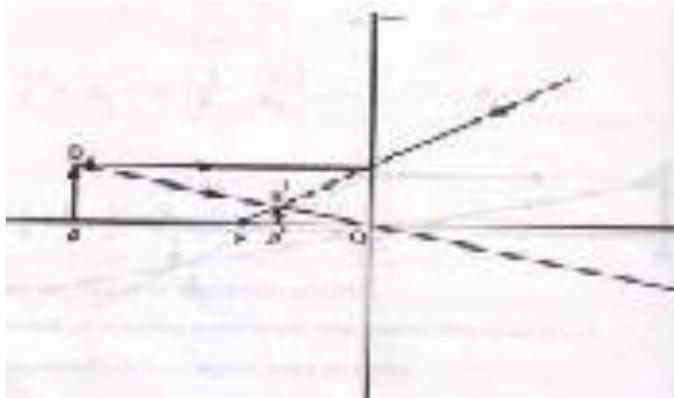


F. Lensa cekung

Lensa cekung sering kali disebut lensa negative, karena fokusnya bertanda negatif,. Jalannya sinar dapat diamati sebagai berikut :

- 1 sinar datang sejajar sumbu utama, akan dibiaskan seolah – olah dari fokus
- 2 sinar datang melalui fokus akan dibiaskan sejajar sumbu utama
- 3 sinar datang lewat titik pusat optik akan diteruskan

Contoh penerapan sinar paraksial untuk pembentukan bayangan pada lensa cekung;



G. Kekuatan lensa

Kekuatan lensa merupakan ukuran lensa tersebut berdasarkan fokus yang dimilikinya, $P = 1/f$; p bersatuan dioptri dan f bersatuan meter

LATIHAN 1

Seberkas cahaya mempunyai panjang gelombang 6000 Å, mengenai dua celah yang terpisah 0.1 cm satu sama lainnya. Jarak celah dengan layar 1 m. tentukan garis gelap dan garis terang pertama pada layar

Penyelesaian; Untuk garis terang rumus yang digunakan $\frac{pd}{l} = (2n) \frac{1}{2} \lambda$

Untuk garis gelap rumus yang dipakai ; $\frac{pd}{l} = (2n - 1) \frac{1}{2} \lambda$

Dengan mengetahui besaran d, l, λ , dan n = 1, maka dapat ditentukan besarnya p

LATIHAN 2

Seberkas sinar putih pada sebuah kisi defraksi dengan konstanta kisi 0.075 mm, jarak kisi dengan layar 1 m. Berapakah jarak antara warna kuning dan merah pada orde pertama, jika panjang gelombang sinar kuning 9000 Angstrom dan sinar merah 12000 Angstrom

Penyelesaian;

Diketahui; $d = 75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; $l = 1 \text{ m}$; $\lambda_{\text{kuning}} = 9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $\lambda_{\text{merah}} = 12 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Jawab ; p_{merah} dan p_{kuning} ditentukan berdasarkan rumus pada soal 1, kemudian dicari selisihnya.

LATIHAN 3

Sebuah benda yang berada 20 cm dimuka lensa terjadilah suatu bayangan maya berjarak 5 cm. Berapakah fokus lensa dan sebutkan jenis lensa.

Penyelesaian; rumus yang digunakan $\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$; karena bayangan maya maka S'

bertanda negative, sedangkan S bertanda positif, maka dapat ditentukan besarnya focus termasuk juga jenis lensanya.

LATIHAN 4

Suatu benda di tempatkan 30 cm didepan lensa, membentuk bayangan nyata 10 cm, ,tentukan; Jenis lensa dan Perbesarannya

Penyelesaian; rumus yang digunakan sama seperti latihan 3, hanya perbesaran

menggunakan rumus; $M = \frac{S'}{S}$

LATIHAN 5

Pada kisi celah tunggal terdapat garis gelap ke dua pada layar dengan sudut bias 60° terhadap sinar pusat, panjang gelombang sinar 7000 A. Berapakah lebar celah tunggal tersebut.

Penyelesaian; rumus yang digunakan ; $d \sin \theta = n \lambda$

SOAL — SOAL

1. Pada percobaan cermin Fresnell menggunakan seberkas sinar dengan panjang gelombang $7,5 \cdot 10^3 \text{ A}$, jika jarak antara kedua celah 0.1 mm dan jarak antara sumber dan layar 0.80 m. Tentukan jarak antara dua garis terang yang berurutan .
2. Lapisan air sabun disinari secara tegak lurus dengan cahaya polikhromatik, maka terlihat warna kuning dengan panjang gelombang 5000A dan indeks bias warna kuning 1.321. tentukan tebal minimum lapisan sabun.
3. Berapa tebal minimum selaput air sabun supaya pada penyinaran tegak lurus dengan sinar putih dapat membentuk warna biru karena interverensi. Jika diketahui $n_{\text{biru}} = 1.337$ dan $\lambda_{\text{biru}} = 4961 \text{ A}$

4. Tentukan besarnya sudut batas pada bidang batas antara gelas dan udara. Jika $n_{\text{gelas}} = 3/4$.
5. Sebuah bidang cembung berisi dengan air, indeks biasnya $5/4$. Jari-jari kelengkungan 20 cm. Sebuah benda ditempatkan 75cm didepan bidang lengkung tersebut. Tentukan
 - i. Jarak bayangan
 - ii. Perbesaran
 - iii. Jarak bayangan dan perbesarannya bila ada didalam air
6. Sebuah lensa mempunyai fokus sebesar 5 cm, digabungkan dengan lensa cekung berfokus 10 cm. Berapakah fokus gabungan dan kekuatan lensanya.
7. Sebuah lensa plankonvek dari kaca indeks biasnya 1.8 jarak titik apinya 15 cm. Berapakah jari- jari kelengkungannya.
8. Jarak antara benda dan bayangan pada lensa yang berfokus 8 cm besarnya 36 cm. Berapakah jarak benda dan bayangan benda.
9. Berapakah pergeseran suatu sinar terhadap kaca planparalel yang tebalnya 10 cm. Bila sudut datangnya 30^0 dan indeks bias kaca 1,5.
10. Suatu berkas sinar sejajar dengan panjang gelombang 689 mikrometer didatangkan tegak lurus pada sebuah kisi difraksi yang mempunyai 6000 goresan/cm. Berapakah besarnya sudut bias sinar - sinar yang dilenturkan.

BAB 4

KELISTRIKAN

1. Tegangan Listrik

a. Muatan Listrik.

Seperti halnya dengan massa, muatan listrik merupakan salah satu sifat dasar partikel elementer tertentu. Muatan listrik ada dua jenis, yaitu muatan listrik positif dan muatan listrik negative. Pada hakekatnya atom dan senyawa bermuatan listrik “netral” artinya jumlah proton (bermuatan positif) dan jumlah electron (bermuatan negative) sama banyaknya. Suatu benda bermuatan negative artinya benda tersebut kelebihan electron, sedangkan benda yang bermuatan positif artinya benda tersebut kekurangan electron.

Satuan muatan listrik adalah Coulomb (C). Muatan positif (proton) mempunyai harga $1.6 \cdot 10^{-19}$ C, sedangkan muatan negatif (elektron) berharga $-1.6 \cdot 10^{-19}$ C.

Sesuai dengan prinsip kekekalan muatan, jumlah muatan listrik dalam sistem terisolasi selalu tetap. Jika suatu zat dibentuk dari energi, maka akan muncul sejumlah muatan positif dan negatif. Sebaliknya jika zat berubah menjadi energi, maka akan hilang sejumlah muatan positif dan negatif.

b. Gaya Elektrostatik.

Gaya elektrostatik dikemukakan oleh Coulomb, menyatakan bahwa apabila dua buah muatan listrik terpisah sejauh r , maka antar muatan listrik tersebut terjadi interaksi. Interaksi yang terjadi berupa gaya elektrostatik; yang dapat berupa gaya tarik ataupun gaya tolak. Gaya tarik ataupun gaya tolak tergantung dari jenis kedua muatan listrik tersebut. Apabila dua muatan listrik tersebut jenisnya sama, maka akan terjadi interaksi gaya tolak. Sebaliknya jika kedua muatan listrik jenisnya tidak sama, maka akan terjadi interaksi gaya tarik.

Besarnya gaya tarik ataupun gaya tolak bergantung dari besarnya muatan listrik masing-masingnya dan jarak antara kedua muatan tersebut. Secara matematis besarnya gaya tarik ataupun gaya tolak diformulasikan;

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad ; \text{dimana} \quad F = \text{gaya tarik/tolak (Newton)}$$

$$Q_1 \ \& \ Q_2 = \text{Besarnya muatan listrik (Coulomb)}$$

r = Jarak antar dua muatan (m)

k = konstanta $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Nilai k juga dapat dinyatakan $k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$; dimana ϵ_0 adalah permitifitas dalam ruang

hampa, dan nilainya adalah; $8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}$

Pada muatan sejenis akan terjadi gaya tolak-menolak, dan muatan tak sejenis akan terjadi gaya tarik-menarik.

c. Medan Listrik.

Medan listrik adalah suatu daerah dari suatu ruang dimana sebuah muatan listrik berada. Dengan kata lain dapatlah dinyatakan bahwa sebuah muatan listrik akan menimbulkan suatu medan listrik di sekitarnya. Suatu medan listrik dapat dihasilkan oleh suatu atau lebih muatan, dapat berupa serba sama atau dapat berbeda besar dan arahnya dari suatu tempat ke tempat lain.

Jika muatan q_0 pada suatu titik tertentu mengalami gaya F , maka medan listrik pada titik tersebut akan mengikuti hubungan; $E = \frac{F}{q}$

Kuat medan listrik merupakan besaran vektor, sedangkan satuan kuat medan listrik adalah N/C.

d. Potensial Listrik.

Beda potensial V antara dua titik dalam medan listrik adalah usaha yang diperlukan untuk membawa satu satuan muatan listrik dari suatu titik ke titik yang lain. Jadi pernyataan tersebut dapat dirumuskan; $V = \frac{W}{q}$, satuan beda potensial adalah volt. Dimana 1 volt adalah 1 joule/coulomb.

Beda potensial antara dua titik dalam medan listrik homogen (uniform) E adalah sama dengan hasil kali E dan jarak s antara titik-titik tersebut dalam arah sejajar E . Jadi besarnya V diformulasikan; $V = E \times s$

2. Kuat Arus Listrik

Apabila dalam suatu konduktor terjadi muatan listrik maka timbullah arus listrik. Bila ada suatu baterai atau generator, maka arus listrik selalu mengalir dari kutub positif ke kutub negatif.

Arus listrik adalah muatan yang bergerak. Gerak muatan listrik dipengaruhi oleh potensial listrik, arus listrik bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah. Arah arus listrik searah dengan gerak muatan listrik positif dan berlawanan arah dengan gerak muatan listrik negative. Besarnya arus listrik dinyatakan dengan kuat arus listrik, disimbolkan i dan satuannya ampere. Arus listrik merupakan besaran vector karena arah arus listrik tertentu sesuai gerak muatan listrik dari potensial tinggi ke potensial rendah.

Jika muatan listrik q melewati titik tertentu dalam suatu konduktor dalam selang waktu tertentu t , maka arus dalam konduktor adalah ; $i = \frac{q}{t}$

Konduktor adalah suatu zat yang dapat menghantarkan arus listrik, sedangkan isolator adalah suatu zat yang tidak dapat menghantarkan listrik.

3. Tahanan/Resistor/Hambatan

Hambatan berfungsi untuk menahan arus listrik. Disimbolkan R , dengan satuan ohm (Ω) dirumuskan ; $R = \rho \frac{l}{A}$

Dimana; ρ = resistivitas bahan konduktor

L = panjang konduktor

A = penampang lintang konduktor

Resistivitas bahan konduktor bervariasi dengan suhu. Jika R adalah tahanan pada suatu konduktor pada suhu tertentu, kemudian berubah tahanannya sebesar ΔR , jika suhunya berubah sebesar Δt , maka $\Delta R = \alpha R \times \Delta t$

Dimana α adalah koefisien suhu suatu tahanan dari suatu bahan.

3. Hukum Ohm;

Apabila sebuah penghantar berhambatan R, kedua ujungnya diberi beda potensial sebesar V, maka didalam penghantar tersebut akan mengalir arus sebesar i,

dimana formulasinya; $i = \frac{V}{R}$; $V = R i$

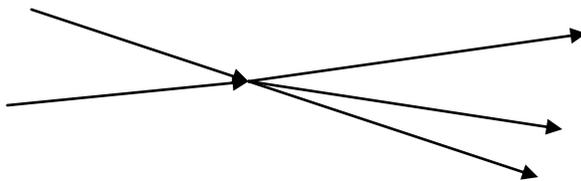
Dimana; R = hambatan (Ω)

i = arus listrik (ampere)

V = tegangan (volt)

4. Hukum Kirchoff I

Dalam satu percabangan jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar; $\sum i_{masuk} = \sum i_{keluar}$

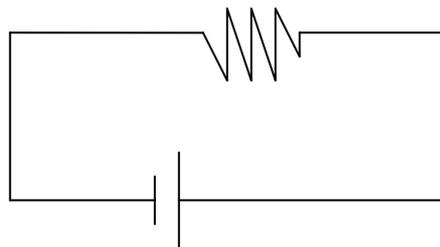


$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

5. Hukum Kirchoff II

Setiap sumber tegangan mempunyai hambatan dalam r. Apabila kutub positif (berpotensial tinggi) dihubungkan dengan kutub negative maka akan terjadi sebuah rangkaian tertutup. Selisih potensial kedua kutub itu disebut gaya gerak listrik (GGL= E). Untuk rangkaian tertutup seperti ini berlaku hokum Kirchoff II, yang berbunyi; *Dalam rangkaian tertutup jumlah aljabar GGL dan penurunan potensial sama dengan nol.*

$$\sum E = 0$$

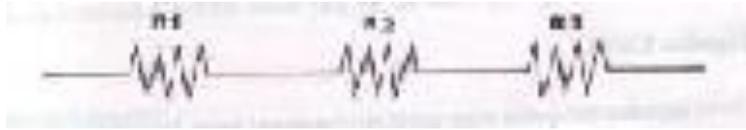


6. Rangkaian Listrik

Berdasarkan hukum-hukum yang ada maka kita kenal dua macam jenis rangkaian, yaitu rangkaian seri dan paralel.

a. Rangkaian Seri;

Bentuk rangkaian seri adalah;

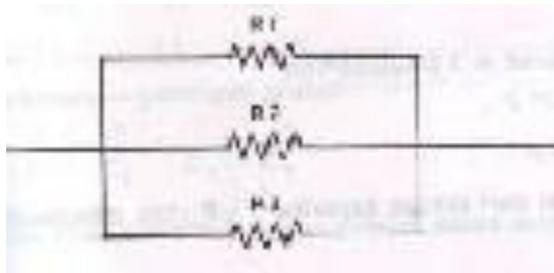


Ciri rangkaian seri adalah; arus yang masuk pada masing-masing hambatan besarnya sama dengan arus totalnya. Sedangkan tegangan masing-masing hambatan berbeda, tetapi jumlah tegangan masing-masing hambatan sama dengan tegangan totalnya. Akibat ciri tersebut maka kita dapatkan besarnya hambatan pengganti dari hambatan yang terangkai secara seri yang dirumuskan;

$$R_{\text{seri}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

b. Rangkaian paralel;

Bentuk rangkaian paralel adalah;



Ciri rangkaian paralel adalah; arus yang masuk pada masing-masing hambatan besarnya tidak sama akan mengikuti hukum Kirchoff I, tetapi jumlah tegangan masing-masing hambatan besarnya sama dengan tegangan totalnya. Akibat ciri tersebut maka kita dapatkan besarnya hambatan pengganti dari

hambatan yang terangkai secara paralel adalah $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

7. Energi Listrik

Arus listrik adalah perpindahan muatan. Ada perpindahan berarti ada energi yang terpakai. Besarnya energi (W) yang terpakai berbanding lurus dengan; selisih potensial, kuat arus, lamanya arus itu terpakai. Jika diformulasikan dalam bentuk rumus; $W = V I t$

Satuan energi menurut SI adalah Joule. Bila $V = 1$ volt, $I = 1$ ampere dan $t = 1$ detik, maka $W = 1$ joule.

Dalam kehidupan sehari-hari kita kenal satuan W adalah wattjam atau wh (watt hour) atau kilowatt jam atau kwh (kilowatt hours). Konversinya adalah 1 joule = 1 watt. 1 sekon.

Energi listrik itu dapat pula dihitung atau dikonversikan dalam bentuk panas (hukum kekekalan energi). Bila 1 Joule = 0.24 kalori, maka energi listrik itu ekuivalen dengan panas (H =heat) sebesar; $H = 0,24$ Vit kalori

8. Daya Listrik

Dalam sebuah rangkaian listrik tertutup, untuk selang waktu dt , sejumlah muatan $dq = i dt$ akan mengalir dalam rangkaian tersebut. Jadi ada pemindahan muatan dq dari suatu tegangan V_a kesuatu tegangan V_b . Sedangkan energi dW yang diberikan muatan sebesar; $dW = dq (V_a - V_b) = idt V_{ab}$, sedangkan energi rata-rata persatuan waktu disebut daya P . Artinya $P = \frac{dW}{dt}$

Sering kali besarnya usaha yang dilakukan untuk mempertahankan arus listrik disebut daya; dan formulasi rumusnya dinyatakan;

$$P = V I;$$

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

P = daya listrik (watt)

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha; $W = P \cdot t$

P = daya listrik (watt)

t = waktu (s)

W = energi (joule)

LATIHAN 1

Dua buah muatan titik masing-masing besarnya $q_1 = 2 \cdot 10^{-4}$ C dan $q_2 = - 3 \cdot 10^{-5}$ C. Berjarak 50 cm. Berapakah gaya yang dialami masing-masing muatan.

Penyelesaian;

$$\begin{aligned} \text{Rumus yang digunakan; } F &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ &= 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

= - 36 N, karena gaya negatif, maka yang terjadi adalah gaya tarik-menarik

LATIHAN 2

Dua buah muatan masing-masing $q_1 = 6 \mu\text{C}$ diletakkan dipusat koordinat dan $q_2 = 15 \mu\text{C}$ terletak pada sumbu x pada jarak 2 m dari pusat koordinat. Dimanakah muatan q_3 yang bertanda negative harus diletakkan agar gaya pada muatan $q_3 = 0$.

Penyelesaian;

Rumus yang digunakan; $F_{13} = F_{23}$

$$k \frac{q_1 q_3}{r^2} = k \frac{q_2 q_3}{r^2}$$

$$\frac{q_1}{(2-x)^2} = \frac{q_2}{x^2}$$

Karena dalam persamaan tersebut hanya satu variabel yang belum diketahui, dengan memasukkan harga muatan maka dapat ditentukan besarnya x

LATIHAN 3

Sebuah kawat penghantar menghubungkan dua titik yang berbeda potensial 50 Volt. Bila pada kawat penghantar dipasang sebuah hambatan sebesar 5 ohm, berapakah kuat arus yang mengalir keluar ujung kawat.

Penyelesaian;

Rumus yang digunakan; $V = i R$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= 50/5 = 10 \text{ Ampere}$$

LATIHAN 4

Sebuah lemari es membutuhkan daya 400 watt dengan tegangan 220 Volt. Berapakah besar hambatan yang terdapat dalam lemari es tersebut ? Apabila lemari es tersebut dihidupkan selama 6 jam, berapakan besar energi yang dibutuhkan ?

Penyelesaian;

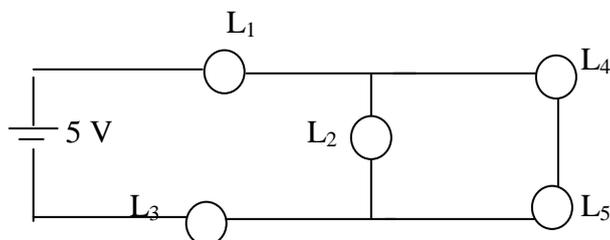
$$\text{Rumus yang digunakan; } P = \frac{V^2}{R}$$

$$W = P t$$

LATIHAN 5

Lima buah lampu, masing-masing $L_1 = L_2 = L_3 = 4V/2W$, $L_4 = L_5 = 4V/4W$ terpasang pada sumber tegangan 5 V, seperti pada gambar berikut. Hitunglah

- Daya yang terpakai pada masing-masing lampu
- Jika L_5 putus, hitung daya pada masing-masing lampu.



Penyelesaian;

Langkah pertama menentukan R_{total} , caranya L_4 dan L_5 diseri, hasilnya dipararel dengan L_2 , hasilnya kemudian diseri dengan L_1 dan L_3 .

Langkah kedua menentukan arus listrik menggunakan hukum ohm.

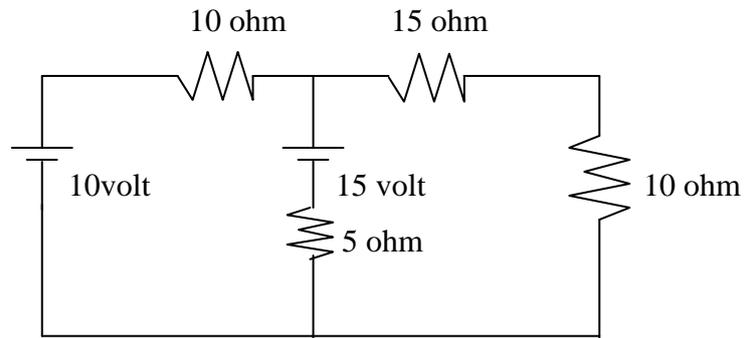
Langkah ketiga menentukan arus yang masuk pada masing-masing lampu dengan memperhatikan syarat rangkaian seri maupun pararel.

Langkah keempat menentukan daya terpakai dengan rumus; $P = i^2 R$.

SOAL-SOAL;

- Dua muatan listrik $7 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ dan $-3 \cdot 10^{-7}$ saling tarik menarik dengan gaya 50 N. Berapakah jarak antara kedua muatan tersebut.
- Berapakah besar gaya yang dilakukan pada sebuah muatan 10^{-5} C dengan kuat medan listrik 60 V/m^2 .
- Suatu pemanas listrik untuk tegangan 220 volt menghasilkan arus 2 A. Berapakah besar tahanan listriknya.
- Berapakah besar tahanan kawat tembaga yang panjangnya 30 m dan garis tengahnya 0,6 mm.
- 4 buah hambatan besarnya sama 6 ohm, berapakah hambatan penggantinya jika hambatan tersebut dirangkai secara seri dan dirangkai secara pararel.
- Hambatan listrik sebesar 60 ohm dipasang pada tegangan 220 volt selama 1 jam. Berapakah besar daya dan energi listrik yang diperlukan.
- Sebuah pesawat televisi mempunyai hambatan sebesar 25 ohm dialiri listrik dengan tegangan sebesar 220 volt selama 4 jam. Berapakah besar daya dan energi yang terpakai.

8. Dalam rangkaian berikut berapakah energi yang dibutuhkan lampu berhambatan 5 ohm selama 5 jam.



FISIKA MODERN

1. GEJALA KUANTUM

a. Radiasi Benda Hitam

Setiap zat memancarkan radiasi elektromagnetik yang sifatnya bergantung dari sifat dan temperatur zat. Pada sisi yang berbeda dikatakan bahwa benda mampat seperti zat padat memancarkan spektrum malar yang mengandung semua frekuensi; atom dalam zat padat saling berdekatan sehingga interaksinya menghasilkan sejumlah besar keadaan kuantum yang tak berdekatan dari pita malar yang energinya diperbolehkan.

Kemampuan sebuah benda untuk meradiasi sangat bergantung pada kemampuan untuk mengabsorpsi (menyerap energi). Benda ideal adalah benda yang mengabsorpsi semua radiasi yang jatuh padanya, tak bergantung dari frekuensi, benda yang demikian disebut benda hitam.

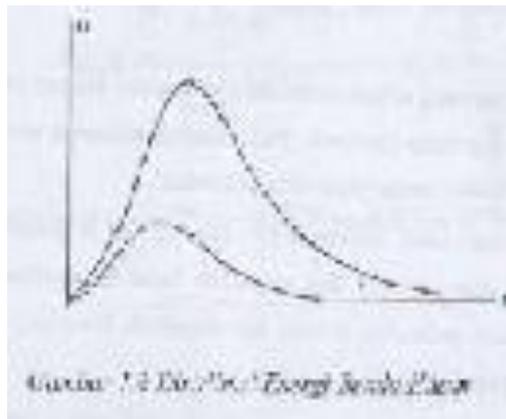
Berdasarkan eksperimen yang dilakukan bahwa benda hitam merupakan pemancar (emitor) radiasi yang terbaik. Rumusan Rayleigh — Jeans. Mereka meninjau radiasi dalam rongga bertemperatur T yang dindingnya merupakan pemantul sempurna. Yang diharapkan sebagai sederetan gelombang elektromagnetik berdiri yang pada hakikatnya sebagai rampatan tiga dimensional dari gelombang berdiri pada tali. Untuk selanjutnya Rayleigh — Jeans mencari energi gelombang berdiri. Dinyatakan bahwa energi rata — rata perderajat kebebasan dari kesatuan yang merupakan bagian dari sistem kesatuan dalam kesetimbangan bertemperatur T ialah $\frac{1}{2} KT$. Energi yang dihasilkan akan mempunyai dua derajat kebebasan, satu menyatakan energi kinetik dan yang lain menyatakan energi potensial, sehingga didapat persamaan energi

$$\begin{aligned} n(f)df &= \xi G(f)df \\ &= KT G(f)df \\ &= \frac{8\pi f^2 KT}{e^3} df \dots\dots\dots \text{rumusan rayleigh — jeans} \end{aligned}$$

Jika suatu benda dipanaskan maka ia akan mengeluarkan radiasi energi. Hasil eksperimen yang menarik untuk disimak adalah sifat distribusi energi atau spektrum energi radiasi benda hitam yang bergantung pada frekuensi cahaya dan temperatur.

Hasil eksperimen radiasi benda hitam tersebut dapat digambarkan dalam

grafik berikut ;



Hukum Radiasi Planck.

Mengapa rumus Rayleigh – Jeans mengalami kegagalan ? karena teori ekuipartisi hanya berlaku untuk distribusi energi yang malar, sedangkan energi gelombang elektromagnetik berfrekuensi f sebetulnya terkuantisasi dalam satuan hf. Fungsi distribusi Bose – Einstein untuk foton ialah;

$$F(f) = \frac{1}{e^{hf/KT} - 1}$$

fungsi ini menyatakan banyaknya gelombang berdiri tiap satuan volume. Jadi kerapatan foton dalam rongga ;

$$u(f)df = hfG(f)F(f) df = \frac{8\pi f^3 df}{c^3 e^{hf/KT} - 1} \dots\dots\dots\text{rumusan radiasi Planck}$$

rumusan ini terjadi pada setiap benda mampat dan akan memancarkan radiasi serta tidak bergantung pada temperaturnya. Dua hasil yang menarik dari rumusan radiasi plank, untuk mendapatkan panjang gelombang yang kerapatan energinya terbesar, diperoleh dengan merumuskan radiasi plank dalam panjang gelombang dan $dU(\lambda)d\lambda = 0$ untuk $\lambda = \lambda$ maksimum sehingga diperoleh

$$\frac{hc}{KT\lambda_{mak}} = 4,965$$

$$\lambda_{mak} T = \frac{hc}{4,965k}$$

$$= 2.898. 10^{-3} \dots\dots\dots\text{Hukum pergeseran Wien}$$

Rumusan Stefan – Boltzman,

Bahwa energi yang diradiasikan benda tiap detik persatuan luas berbanding lurus dengan T^4 , sehingga dirumuskan;

$$W = e \sigma T^4$$

Dimana;

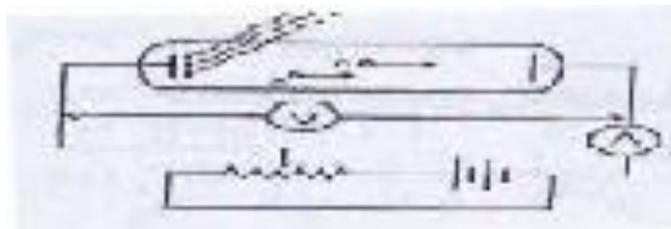
e = emisivitas benda harganya bergantung dari sifat permukaan radiasi, harganya berkisar 0 untuk pemantul sempurna dan 1 untuk benda hitam

σ = konstanta stefan ($5.67 \cdot 10^{-9} \text{ w/m}^2\text{k}^4$)

b. Efek fotolistrik

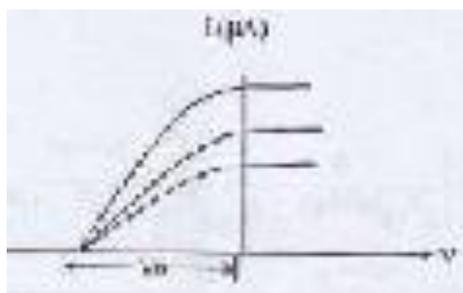
Menjelang abad kedupuluhan serangkaian eksperimen menyatakan bahwa elektron dipancarkan dari permukaan logam jika cahaya yang berfrekuensi cukup tinggi jatuh pada permukaan itu. Gejala inilah yang dinamakan efek fotolistrik. Sehingga secara umum dapat dikatakan bahwa elektron akan terlepas dari logam jika logam tersebut diberi energi yang lebih besar dari energi ambang yang dimiliki elektron.

Pada tahun 1887 Heinrich Hertz melakukan eksperimen fotolistrik sebagai berikut;

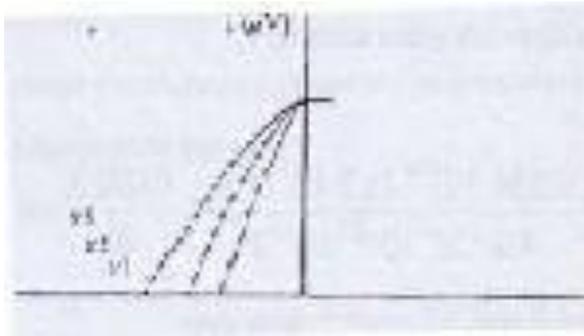


Gambar ; Eksperimen efek fotolistrik

Hasil eksperimen efek fotolistrik, dapat diungkapkan dalam gambar berikut;



Untuk cahaya monokromatik λ dengan intensitas cahaya bermacam-macam.



Untuk cahaya dengan frekuensi yang bermacam-macam.

Formulasi energi secara matematis adalah;

$$E = hf - hf_0$$

Dengan :

E = menyatakan energi foto elektron

hf_0 = energi ambang elektron

h = konstanta plank ($6,626 \cdot 10^{14} \text{ J}$)

hf = energi dari masing – masing kuantum cahaya datang

Jika energi dibawah harga hf_0 maka tidak terjadi pancaran elektron (elektron tidak terlepas)

c. Efek Compton

Menurut teori kuantum cahaya , foton berlaku sebagai partikel, hanya foton tidak mempunyai massa diam. Analisa efek Compton dapat diamati pada peristiwa tumbukan foton dengan elektron. Andaikan foton sinar X menumbuk elektron (yang mula – mula dalam keadaan diam), dalam tumbukan itu foton dapat dipandang sebagai partikel yang kehilangan sejumlah energi yang besarnya sama dengan energi kinetik (E_k) yang diterima oleh elektron, walaupun sebenarnya kita mengamati dua foton yang berbeda. Jika foton semula berfrekuensi f , maka frekuensi foton hambur mempunyai frekuensi yang lebih rendah f' sehingga;

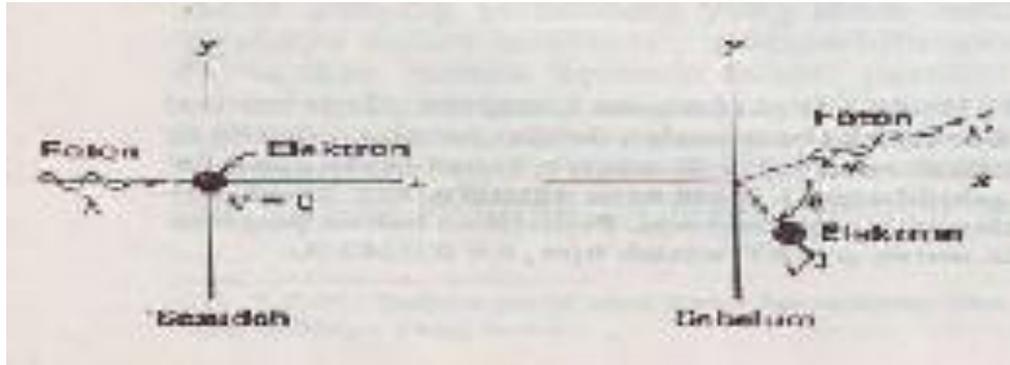
Kehilangan energi foton = energi yang diterima elektron

$$E_k = hf - hf'$$

Momentum partikel yang tidak bermassa berkaitan dengan energi, dengan formulasi ; $E = pc$

Karena energi foton $E = hf$, momentumnya $p = E/c = hf/c$

Momentum tidak seperti energi, merupakan besaran vektor yang mempunyai arah dan besar serta berlaku hukum kekekalan momentum.



Momentum foton mula-mula $\frac{hf}{c}$, sama dengan momentum hambur sedangkan momentum elektron mula-mula 0 dan momentum akhir P.

Dalam arah foton mula-mula; momentum mula-mula = momentum akhir

$$\frac{hf}{c} + 0 = \frac{1}{c} hf' \cos \phi + p \cos \theta \dots\dots\dots(1)$$

Untuk arah tegak lurus; momentum mula-mula = momentum akhir

$$0 = \frac{hf'}{c} \sin \phi - p \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

Selanjutnya dengan mengalikan persamaan 1 dan 2 dengan c diperoleh;

$$P c \cos \theta = hf - hf' \cos \phi$$

$$P c \sin \theta = hf' \sin \phi$$

Jika kedua persamaan diatas dikuadratkan kemudian dijumlahkan, maka kita dapatkan

$$(pc)^2 = (hf)^2 - 2 hf hf' \cos \phi + (hf')^2 \dots\dots\dots(3)$$

Untuk energi total; $E = E_k + m_0 c^2$

$$= \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$

Dari persamaan diatas, kita dapatkan; $p^2 c^2 = E_k^2 + 2 E_k m_0 c^2 \dots\dots\dots(4)$

Karena harga $E_k = hf - hf'$, sehingga persamaan (4) menjadi;

$$(pc)^2 = (hf)^2 + (hf')^2 - 2 hf hf' + 2 m_0 c^2 (hf - hf') \dots\dots\dots(5)$$

Substitusi persamaan (5) ke persamaan (3) akan diperoleh;

$$2(hf)(hf') \{1 - \cos \phi\} = 2 m_0 c^2 (hf - hf') \dots\dots\dots(6)$$

Dengan menyatakan frekuensi dalam panjang gelombang dan kita bagi persamaan 6 dengan $2 h^2 c^2$, maka kita dapatkan;

$$\left(\frac{m_0 c}{h}\right)\left(\frac{f}{c} - \frac{f'}{c}\right) = \frac{ff'}{c^2}(1 - \cos\phi) \dots\dots\dots(7)$$

Karena harga $\frac{f}{c} = \frac{1}{\lambda}$, maka persamaan 7 menjadi;

$$\left(\frac{m_0 c}{h}\right)\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) = \frac{(1 - \cos\phi)}{\lambda\lambda'} \quad \text{atau} \quad \lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi) \dots\dots \text{Rumusan Compton}$$

d. Dualisme Gelombang Materi

Pandangan bahwa cahaya menjalar sebagai sederetan paket energi (foton) berlawanan dengan teori gelombang cahaya. Pernyataan Planck bahwa benda memancarkan cahaya dalam bentuk kuantum yang terpisah dan tidak bertentangan dengan penjalaran cahaya sebagai gelombang. Namun usul Einstein pada tahun 1905 yang menyatakan bahwa cahaya bergerak melalui ruang dalam bentuk foton, menimbulkan rasa tak percaya pada rekan-rekannya termasuk Planck.

Menurut Teori gelombang, gelombang cahaya menyebar dari suatu sumber, energi yang dibawa terdistribusi secara malar (kontinu) ke seluruh pola gelombang. Sebaliknya menurut teori kuantum, cahaya menyebar dari sumbernya sebagai sederetan konsentrasi energi yang terlokalisasi, masing-masing cukup kecil sehingga dapat diserap oleh sebuah electron. Kenyataannya bahwa teori kuantum cahaya akan berkaitan dengan frekuensi cahaya yang sepenuhnya merupakan konsep gelombang.

Agar lebih jelas, kita amati gelombang elektromagnetik berfrekuensi f yang jatuh pada layar. Intensitasnya sebesar I dari gelombang itu yang merupakan laju energi transport persatuan luas penampang, bergantung dari besar E dan B dari medan listrik dari medan magnet, karena hubungan $E = c B$, maka besarnya; $I = \epsilon_0 c E^2$.. merupakan bentuk gelombang. Dimana E^2 menyatakan rata-rata kuadrat besaran sesaat dari gelombang medan listrik dalam satu siklus. Jika dinyatakan dalam foton, maka energinya ditransfer oleh N foton tiap detik tiap satuan luas yang dinyatakan;

$$I = N h f \dots\dots\text{gambaran foton.}$$

Kedua gambaran tersebut harus memberikan harga I yang sama, sehingga laju

kedatangan foton menjadi; $N = \varepsilon_0 c \frac{E^2}{hf}$

Jika N cukup besar, maka dilayar akan terdapat distribusi cahaya yang malar hal ini mendukung mendukung teori, gelombang cahaya.

Jika N Kecil, maka satu foton saja pada tiap saat yang sampai pada layar akan terdapat sederetan cahaya rambang yang menunjukkan bahwa cahaya merupakan gejala kuantum.

Dari uraian tersebut jelaslah bahwa cahaya mempunyai dua sifat, teori gelombang cahaya dan teori kuantum cahaya yang saling berkomplemen

2. ATOM

a. Spektrum Atom Hidrogen

Model atom Rutherford menggambarkan atom analog dengan sistem tata surya kita, yaitu;

- Atom terdiri atas inti atom dan kulit atom. Inti atom terdiri atas proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan, sedangkan kulit atom adalah elektron yang bermuatan negatif.
- Elektron dalam mengelilingi inti atom memerlukan energi
- Spektrum optik dari suatu atom berupa spektrum kontinu.

Teori tersebut mempunyai kelemahan yaitu bahwa jika elektron mengelilingi inti memerlukan energi maka lama kelamaan elektron tersebut akan kehabisan energi. Jika energinya berkurang maka lama kelamaan elektron akan jatuh ke inti atom. Hal demikian secara empiris tidak pernah terjadi, sebab jika hal tersebut terjadi maka suatu benda akan memampat lebih masif. Hasil eksperimen Balmer menunjukkan bahwa spektrum atom bersifat diskrit untuk atom hidrogen dan spektrum pita untuk gas nitrogen.

Untuk mengatasi masalah ini Niels Bohr mengajukan model atom hidrogen yang berdasar pada postulat-postulat berikut;

- Elektron bergerak mengitari proton di dalam atom hidrogen dengan gerak melingkar (uniform) dalam gaya coulomb dan sesuai dengan hukum Newton
- Orbit yang diijinkan hanya orbit yang memungkinkan, dengan momentum sudut elektron sebesar kelipatan bulat dari $\frac{h}{2\pi}$, yaitu; $L = m v r = n h$

- Jika elektron berada pada orbit yang diijinkan, elektron tidak memancarkan energi dan tidak menyerap energi
- Jika elektron berada pada orbit yang diijinkan kemudian mendapat tambahan energi, maka elektron akan mengalami eksitasi, yaitu berpindah lintasan dari lintasan kecil ke lintasan lebih besar.

Kemantapan teori atom Bohr untuk menerangkan asal-usul garis spektrum merupakan salah satu hasil yang menonjol. Alat yang digunakan untuk mengamati spectrum disebut spectrometer. Spektrometer yang sesungguhnya memakai kisi defraksi, karena dapat menunjukkan spectrum atomic untuk beberapa unsure. Spectrum yang ditunjukkan disebut spectrum garis emisi. Setiap unsur memperlihatkan spectrum garis yang unik bila sampelnya dalam fase uap terjadi eksitasi. Jadi spectrometer merupakan alat yang berguna untuk menganalisa komposisi zat yang tak diketahui.

Pada akhir abad 19 ditemukan bahwa panjang gelombang yang terdapat pada spectrum atomic jatuh pada kumpulan tertentu yang disebut deret spectral. Panjang gelombang dalam setiap deret dispesifikasikan dengan rumus empiris yang sederhana dengan keserupaan yang mengherankan antara rumusan dari berbagai deret yang menyatakan spectrum lengkap suatu unsur.

Rumusan panjang gelombang berdasarkan penemunya adalah;

a. Lyman; $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right); n=2,3,4,\dots$

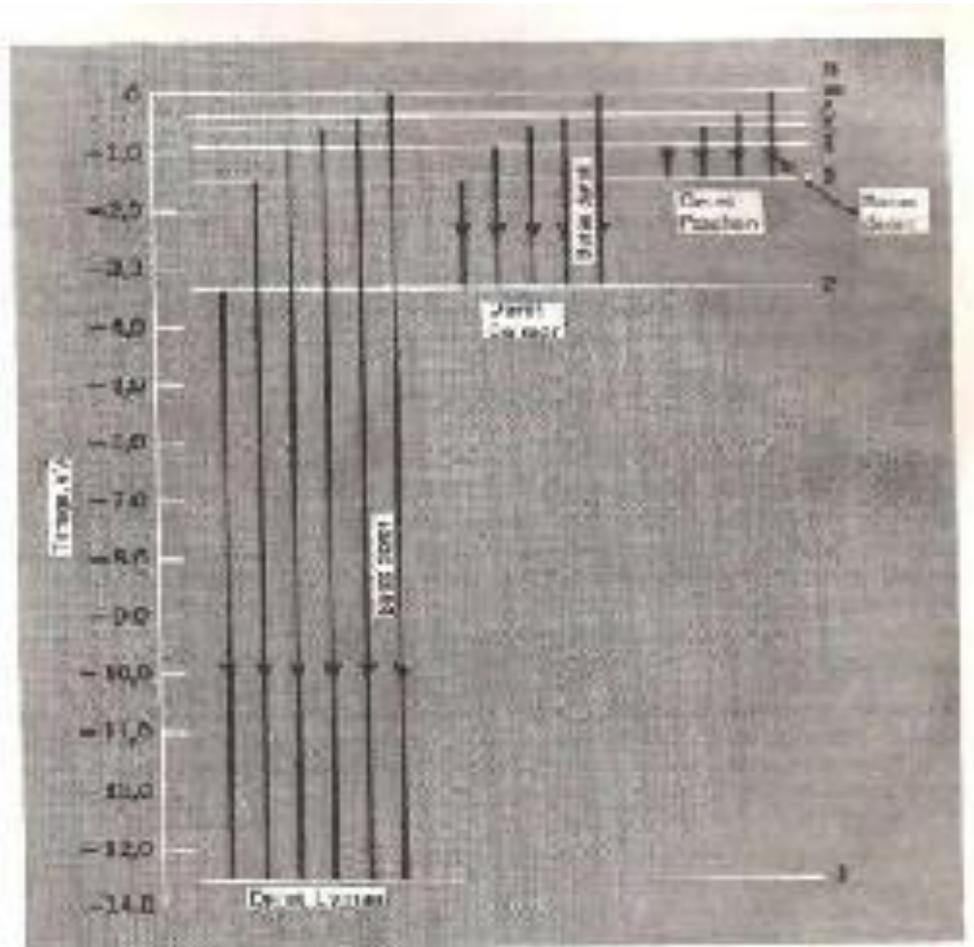
b. Balmer; $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right); n=3,4,5,6,\dots$

c. Paschen; $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right); n=4,5,6,7,\dots$

d. Brackett; $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right); n=5,6,7,8,\dots$

e. Pfund; $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right); n=6,7,8,\dots$

Dimana R merupakan tetapan Rydberg yang besarnya $1.097 \cdot 10^7 /m$ dan n merupakan deret lintasan electron.



b. Atom Bohr

Diawali dengan pengamatan panjang gelombang de Broglie untuk elektron;

$$\lambda = \frac{h}{mv}; \text{ dimana } v \text{ menyatakan kelajuan elektron dengan frekuensi; } f = \frac{c}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}},$$

sehingga besarnya; $\lambda = \frac{h}{c} \sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}$

Dengan mensubstitusikan $r = 5.3 \cdot 10^{-11}$ m yang merupakan jari-jari orbit electron, kita dapatkan panjang gelombang; $\lambda = 33 \cdot 10^{-11}$ m, hal ini sama dengan keliling orbit electron yang besarnya $2\pi r = 33 \cdot 10^{-11}$ m. Artinya orbit elektron dalam atom hydrogen sesuai dengan satu gelombang electron yang titik ujung pangkalnya dihubungkan, dengan menganggap kelakuan gelombang electron dalam atom hydrogen, kita dapat mengambil postulat bahwa sebuah electron dapat mengelilingi inti hanya dalam orbital yang mengandung bilangan bulat kali panjang gelombang de Broglie

Hal ini mudah untuk menyatakan syarat bahwa orbit electron

mengandung kelipatan bilangan bulat kali panjang gelombang de Broglie. Karena keliling orbit zarah, sehingga syarat kemandapan orbit adalah : $n \lambda = 2\pi r$. Dimana n

(bilangan kuantum) = 1.2.3 karena $\lambda = \frac{h}{m v} = \frac{h}{m \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 e^2 r}{m}}}$, maka jika persamaan ini

Dimasukkan dalam rumusan $n \lambda = 2\pi r$ akan didapati; $R_0 = n^2 h^2 \frac{\epsilon_0}{\pi m e^2}$

yang merupakan jejari orbit electron dalam atom Bohr. Jejari orbit terdalam biasa disebut jejari Bohr dalam atom hirogen diberi lambang a_0 yang besarnya ;

$$a_0 = r_1 = 5.292 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 0.5292 \text{ angstrom}$$

dengan $h = 6,64 \cdot 10^{-34}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$; $n = 1$; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ dan $m = 9 \cdot 10^{-31}$

Jejari yang lain dapat dinyatakan dengan a_0 ; $r_1 = n^2 a_0$

3. Prinsip Pauli

Dalam konfigurasi normal sebuah atom hydrogen, electron beraksi dalam keadaan kuantum terendah. Karena struktur electron sebuah atom mengendalikan interaksi dengan atom lain, sulit bagi kita untuk mengerti mengapa sifat kimia unsur harus berubah secara mendadak dengan berubahnya bilangan atomik bila seluruh electron atom itu ada dalam keadaan yang sama.

Dalam tahun 1925, Wolfgang Pauli menemukan prinsip pokok yang mengatur konfigurasi elektronik (larangan) mengatakan bahwa tidak terdapat dua electron dalam sebuah atom yang dapat bereaksi dalam keadaan kuantum yang sama. Masing – masing electron dalam sebuah atom harus memiliki kumpulan bilangan kuantum n_1, m_2 yang berbeda. Pauli menemukan prinsip eksklusi ketika ia mempelajari spectrum Atomik. Dalam spektrum setiap unsur selain hidrogen, tidak terdapat sejumlah garis, garis ini sesuai dengan transformasi dari dan ke keadaan yang memiliki kombinasi bilangan kuantum tertentu. Jadi dalam helium misalnya tidak teramati transformasi dari dan ke konfigurasi keadaan dasar dengan kedua elektron berlawanan sehingga spin totalnya nol. Pada keadaan yang nol (tidak ada) bilangan kuantum kedua elektron harus sama dengan $n = 1; l = 0; m = 0; m_s = -\frac{1}{2}$, sedangkan dalam keadaan yang ada, elektron memiliki $m_s = \frac{1}{2}$ dan yang lain $m_s = -\frac{1}{2}$. Pauli menunjukkan setiap keadaan atomik yang tak terdapat mengandung dua atau lebih elektron dengan bilangan kuantum yang identik, dan prinsip eksklusi merupakan pernyataan dari sebuah eksperimen.

4. INTI ATOM

a. Radioaktivitas

Radioaktivitas merupakan gejala perubahan keadaan inti yang secara spontan yang disertai radiasi berupa zarah dan gelombang elektromagnetik. Secara umum zarah radioaktif terbedakan menjadi tiga ; yaitu zarah alfa , zarah beta, dan zarah gamma.

Perubahan dalam inti atom tentu saja membawa perubahan pada satu nuklida menjadi nuklida yang lain atau dari satu nukleon menjadi unsur yang lain. Peristiwa perubahan itu menjadi inti atom yang lain ini disebut desintegrasi inti atau peluruhan radioaktif

Gejala radioaktif semata – mata ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan dan tidak dapat dipengaruhi, dipercepat atau diperlambat, dengan mengubah kondisi di luar inti atom seperti suhu, tekanan bentuk senyawa kimia dan sebagainya. Peluruhan radioaktif merupakan peristiwa rambang (random) mungkin yang tunduk pada kaidah-kaidah statistic.

b. Susunan Inti

Massa sebuah atom hampir seluruhnya terpusatkan pada inti atom. Rapat inti atom adalah 10^{14} g/cm^3 atau sama dengan seratus juta ton persentimeter kubik. Inti atom yang disebut zarah elementer terdiri atas proton dan neutron. Kadang diperlukan panamaan zarah penyusunan inti atom yang tidak membedakan antara proton dan neutron. Dalam hal ini kedua zarah tersebut disebut sebagai nucleon.

Proton adalah zarah elementer yang bermuatan listrik positif, disimbolkan p dan besarnya $1,602 \cdot 10^{-12}$ coulumb, massa proton $m_p = 1,67201 \cdot 10^{-24}$ gr. Cacah proton dalam inti atom biasanya dilambangkan dalam huruf Z dan disebut sebagai nomor atom. Sedangkan neutron adalah zarah elementer penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Massa diam setuaha neutron m_0 hampir sama dengan masa sebuah proton yaitu sebesar $1,37492 \cdot 10^{-24}$ gr. Cacah neutron dalam inti atom biasanya dilambangkan dalam huruf N. Perbandingan cacah neutron dan proton (N/Z) sangat menentukan kestabilan inti atom.

c. Isotop

Seperti telah di jelaskan di atas bahwa inti atom terdiri dari netron dan proton, bahwa (N/Z) sangat menentukan jumlah proton dan neutron. Cacah proton dalam inti menentukan atom tersebut merupakan unsur apa. Atom dari suatu unsur bisa mempunyai cacah neutron N nya berbeda – beda tanpa merubah sifat – sifat kimianya. Atom dari

suatu unsur yang memiliki neutron yang berbeda disebut isotop unsur itu.

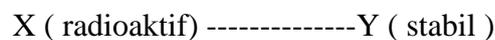
Sehingga dapat ditunjukkan komposisi inti ketiga isotop hydrogen sebagai berikut;

Cacah Proton	Cacah Neutron	Nama Isotop	Jenis Isotop
1	0	Hydrogen	Stabil
1	1	Deuterium	Stabil
1	2	Tritium	Tidak Stabil

Hydrogen, deuterium, dan tritium mempunyai sifat – sifat kimia yang sama dan termasuk dalam unsur hydrogen. Isotop – isotop unsur ada yang stalil dan ada yang tidak stabil atau bersifat radioaktif. Isotop radioaktif dinamakan juga radioisotop. Isotop – isotop suatu unsur ada yang terdapat di alam dan juga ada isotop buatan yang selalu mempunyai komposisi isotopik yang tetap.

5. PELURUHAN

Agar gejala radio aktifitas dapat dinyatakan secara kuantitas, maka dapat ditinjau suatu peluruhan radioaktif sebagai berikut;



Artinya bahwa peristiwa peluruhan selalu menuju kearah stabil suatu atom. Laju reaksi peluruhan atom dari perubahan inti atom induk per satuan waktu sebanding dengan cacah atom induk yang ada pada saat itu. Jika cacah atom induk saat t adalah N_t maka dapat

ditulis;
$$\frac{dN_t}{dt} = -\lambda N_t$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

dimana : N_t = cacah partikel setelah meluruh dalam t detik

N_0 = cacah partikel awal

λ = tetapan radioaktif

t = waktu untuk meluruh

e = bilangan natural

laju peluruhan suatu radioaktif biasanya dinyatakan secara karakteristik dengan suatu tetapan yang disebut waktu paruh diberi lambang $\frac{t_1}{Z}$ atau T, yang menyatakan waktu

paruh. Waktu paruh suatu radionuklida adalah waktu yang diperlukan agar cacah atom radionuklida tersebut menjadi setengah cacah semula.

Dirumuskan:

$$N_t = 1/2 N_0$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$T = 0,693 \lambda$$

6. DERET RADIOAKTIF

Pada dasarnya unsur – unsur radioaktif di alam ini terbedakan menjadi empat deret. Deret – deret itu antara lain :

1. Deret Uranium, bersumber pada ${}_{92}\text{U}^{232}$, dan berakhir pada ${}_{82}\text{Pb}^{224}$ yang stabil
2. Deret Thorium, bersumber pada ${}_{90}\text{Th}^{232}$ dan berakhir pada ${}_{82}\text{Pb}^{224}$ yang stabil
3. Neptunium, deret ini dimulai dari ${}_{90}\text{Np}^{232}$ yang radioaktif dan berakhir dengan ${}_{83}\text{Bi}^{209}$ dalam keadaan stabil.
4. Deret Aktinium, mulai dari ${}_{92}\text{U}^{235}$ dan berakhir dengan ${}_{82}\text{Pb}^{224}$ Stabil.

Apabila diamati keempat deret tersebut dalam peluruhannya membawa ciri-ciri yang berbeda. Hal ini tampak pada kelipatan nomor massanya. Untuk deret Thorium dalam proses peluruhan berantai menghasilkan inti-inti dengan nomor massa kelipatan n atau $4n$ (dengan n bilangan bulat). Demikian juga untuk deret Neptunium ($4n+ 1$), deret Uranium ($4n+2$) dan deret Aktinium ($4n+3$).

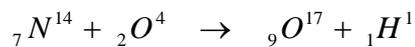
7. REAKSI INTI/REAKSI NUKLIR

Banyak reaksi nuklir/inti sebenarnya berkaitan dengan langkah terpisah, pertama partikel saling menumbuk inti target dan kedua bergabung untuk membentuk inti baru yang disebut inti majemuk, yang nomor atomic dan nomor massanya merupakan penjumlahan dari nomor-nomor atomic partikel-partikel semu dan penjumlahan nomor-nomor massanya.

Analisis reaksi yang terjadi bila sebuah nucleon yang bergerak atau inti menumbuk inti lain yang diam dapat disederhanakan dengan memakai system koordinat yang bergerak dengan pusat masa partikel yang bertumbukan. Bagi pengamat yang berada pada pusat masa, partikel - partikel tersebut mempunyai

momentum yang sama besar tetapi berlawanan arah.

Pada tahun 1919 Rutherford mengamati adanya tumbukan yang terjadi antara partikel alfa dengan atom - atom hydrogen, dapat ditulis;



Partikel yang lebih kecil seperti proton, neutron dan deuterium juga dapat dipakai untuk menggunakan kestabilan inti, dengan harapan akan terjadi kestabilan inti menjadi inti - inti yang lain. Seperti yang dilakukan Cockroft dan Walton. Nampak pada reaksi dibawah ini : ${}_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$

Dimana pada setiap reaksi inti selalu berlaku;

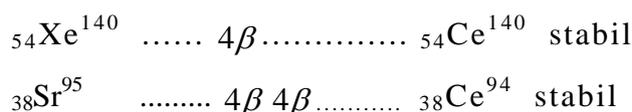
- Hukum Kekekalan momentum
- Hukum Kekekalan nomor massa
- Hukum Kekekalan nomor atom
- Hukum kekekalan energi

8. Fisi dan Fusi Nuklir

Reaksi fisi adalah reaksi pembelahan inti menjadi dua buah atau lebih yang lebih ringan, yang disertai dengan pemancaran energi dan radiasi, misalnya



Xenon -140 dan tronsium -94 merupakan dua inti ringan yang stabil. Dengan memancarkan sinar betha, maka kedua isotop tersebut akan stabil, menjadi;



jika proses reaksi fisi berantai yang terjadi di kendalikan maka dalam waktu singkat seluruh inti uranium akan habis, pembelahan yang terjadi sangat banyak dalam waktu yang sangat singkat dengan pelepasan energi yang cukup besar akan menimbulkan ledakan maha dahsyat.

Reaksi fusi adalah peristiwa penggabungan dua inti ringan menjadi sebuah inti yang lebih berat disertai dengan pelepasan energi. Reaksi ini terjadi di matahari dan bintang. Yang merupakan sumber dari hampir semua energi di alam semesta. Inti energi yang terlepas ketika terjadi fusi inti ringan menjadi inti yang lebih berat disebut energi termonuklir.

Energi termonuklir merupakan cadangan energi di masa yang akan datang, hanya saja belum ditemukan cara-cara untuk mengendalikan reaksi fusi berantai,

karena didalam prosesnya memerlukan tekanan yang tinggi dan suhu jutaan derajat.

LATIHAN 1

Berapakah energi sebuah foton dari cahaya polikromatik yang mempunyai panjang gelombang 7000 Angstrom.

Penyelesaian; $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{7 \cdot 10^{-7}} \text{ Joule}$$

LATIHAN 2

Berapakah panjang gelombang spektrum atom hirogen, jika electron mengalami transisi dari $n = 6$ ke $n = 3$

Penyelesaian; $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2} \right)$

LATIHAN 3

Jelaskan macam deret radioaktif dan sebutkan unsur sumbernya dan unsur stabilnya

Penyelesaian; hal ini ditunjukkan pada bahasan deret radioaktif

LATIHAN 4

Tritium mempunyai waktu paruh 12,5 th. Hitung berapa bagian tritium akan tertinggal setelah 10 th.

Penyelesaian; $N_t = N_0 (1/2)^{t/T}$; dengan $T = 12.5$ th dan $t = 10$ th maka dapat ditentukan besarnya N_t

LATIHAN 5

Jelaskan hukum-hukum yang berlaku dalam setiap reaksi inti.

Penyelesaian; Dalam setiap reaksi inti akan berlaku, hukum kekekalan momentum, hukum kekekalan nomor massa, hukum kekekalan nomor atom, dan hukum kekekalan energi.

SOAL-SOAL

1. Berapakah panjang gelombang radiasi dengan intensitas tertinggi dari benda yang temperature permukaannya 34°C , yang berarti temperaturnya hampir sama dengan temperatur manusia.
2. Seberkas cahaya mempunyai panjang gelombang 4500 angstrom ditembakkan pada suatu permukaan logam. Ternyata dari logam terjadi efek fotolistrik dengan energi kinetic sebesar $8 \cdot 10^{-20}$ joule.

- Tentukan; a. energi ambang b. frekuensi ambang
- Jika energi maksimum yang diperoleh electron dalam hamburan Compton 54 KeV Berapakah panjang gelombang foton sebelum terjadinya hamburan.
 - Sebuah atom hydrogen tereksitasi dan memancarkan foton dengan panjang gelombang 1025.5 angstrom ketika jatuh ke keadaan dasar. Berapakah bilangan kuantum tingkat eksitasi mula – mula
 - Tentukan panjang gelombang terpendek dan terpanjang dalam deret spektrum atom hydrogen menurut deret : a. Paschen b. Pfund
 - Jelaskan tentang prinsip eksklusinya Pauli
 - Umur paruh Na^{24} adalah 15 hari, berapa lamakah waktu yang diperlukan supaya 80% sampel nuklida ini meluruh.
 - Hitung besarnya energi yang dibebaskan bila terjadi reaksi fusi berikut;

$${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^3 \longrightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_0\text{n}^1 + \text{energi}$$
 bila diketahui massa;

$${}_1\text{H}^2 = 2,0141 \text{ sma}, {}_1\text{H}^3 = 3,0160 \text{ sma}, {}_2\text{He}^4 = 4,0026 \text{ sma}, {}_0\text{n}^1 = 1,0086 \text{ sma}$$
 - Lengkapi reaksi berikut dan beri nama,
 - ${}_6\text{C}^{13} + {}_1\text{H}^2 \longrightarrow \dots \dots \dots {}_6\text{C}^{14} + \dots \dots \dots$
 - ${}_5\text{B}^{11} + {}_2\text{He}^4 \longrightarrow \dots \dots \dots {}_7\text{N}^{14} + \dots \dots \dots$
 - ${}_5\text{B}^{10} + \dots \dots \dots \longrightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_5\text{B}^{11}$
 - ${}_6\text{C}^{14} + {}_1\text{H}^1 \longrightarrow \dots \dots \dots {}_7\text{N}^{15} + \dots \dots \dots$
 - Buktikan bahwa $N = N_0 e^{-\lambda t}$ sama dengan $N = N_0 (1/2)^{t/T}$

DAFTAR PUSTAKA

- Allonso Finn, 1967, *Fundamental University Physics*, Addison-Wesley
- Arthur Beiser, 1982, *Konsep Fisika Modern*, Erlangga Jakarta
- Halliday, Resnick, 1985, alih bahasa Pantur Silaban dan Erwin Sucipto, *Fisika jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Sears & Zemasnky, 1962, *Fisika untuk Universitas*, Binacipta, Bandung
- Sutrisno, 1984, *Seri Fisika Dasar Fisika Modern*, ITB Bandung
- Sutrisno, 1984, *Seri Fisika Dasar Gelombang dan Optik*, ITB Bandung
- Werlin.S.Naingolan, 1976, *Teori Soal Penyelesaian Thermodinamika*, Armico Bandung.