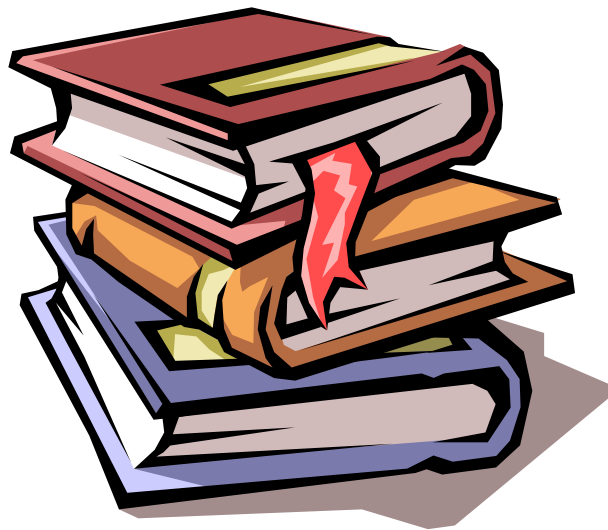


**DIKTAT KULIAH  
FISIKA OPTIK**



**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS LANGLANGBUANA  
BANDUNG  
2005**

# **MODUL I**

## **FISIKA OPTIK**

### **TUJUAN:**

- Menjelaskan tentang fenomena cahaya dan pengujian terhadap teori cahaya.

### **Pokok - pokok Bahasan:**

1. Teori-teori tentang cahaya
  - Teori Newton ( Partikel )
  - Teori Huygens ( Gelombang Memerlukan Medium )
  - Teori Planck ( Paket Energi )
  - Teori Maxwell ( Gelombang Elektro magnetic )
2. Percobaan-percobaan untuk membuktikan kebenaran Teori:
  - Percobaan Foucoult
  - Percobaan Young & Fresnel
  - Percobaan Michelson & Morley
  - Percobaan R. Hertz
  - Percobaan Zeeman
  - Percobaan Stark
  - Percobaan Photo Listrik
3. Pengertian Muka gelombang & Sinar Cahaya

## MODUL I

### Sifat Cahaya

Cahaya adalah suatu zat yang sangat banyak membantu kehidupan makhluk hidup antara lain:

1. Proses melihat benda
2. Membedakan warna benda
3. Proses photo sintesis
4. Proses photo listrik
5. Dsb

Fenomena cahaya telah dipelajari oleh manusia dan menghasilkan berbagai teori antara lain :

1. Teori Emisi dari Newton

Cahaya dianggap terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil dan ringan ( yang disebut Korpuskul ) yang dipancarkan dari sumbernya ke segala arah menurut garis lurus dengan kecepatan yang sangat tinggi. Lintasan-lintasan partikel berasal dari sumber itu disebut sinar cahaya.

2. Teori gelombang dari Huygens

Cahaya adalah gejala gelombang seperti halnya bunyi cahaya merambat dengan perantaraan gelombang yang disebut gelombang cahaya. Menurut teori ini cepat rambat cahaya memenuhi persamaan:

$$C = \lambda * f$$

C = Cepat rambat

$\lambda$  = Panjang gelombang

$f$  = Frekwensi ( Hz atau cps ).

Menurut teori ini cahaya merambat melalui medium untuk menjelaskan cahaya dapat mengalir melalui ruang hampa maka dibuat hypotesa bahwa disuruh ruangan terdapat medium yang dinamakan **Eter**

### 3. Teori kuantum cahaya dari Max Planck

Cahaya dipancarkan dari sumbernya dalam bentuk paket-paket energi yang disebut kuantu. Paket-paket energi ini yang dipancarkan secara periodic dari sumbernya.

#### **Besarnya kuantum energi cahaya adalah:**

$$E = h.f$$

Dimana:

$h$  = Konstanta Planck  $6.63 \times 10^{-34}$  J.s

$f$  = Frekwensi ( cps )

Untuk menguji kebenaran teori-teori diatas dilakukan percobaan-percobaan antara lain:

#### 1. Percobaan Foucoult

Dalam percobaannya Foucoult berhasil menghitung dan menentukan kecepatan rambat cahaya dalam berbagai medium. Kecepatan rambat cahaya diudara yang dihitung mendekati  $3 \times 10^8$  m/s. lebih besar dari kecepatannya didalam zat cair. Hasil percobaan ini ternyata telah melemahkan teori Newton. menurut Newton kecepatan rambat cahaya dalam zat cair lebih besar kecepatannya diudara.

#### 2. Percobaan Young dan Fresnel

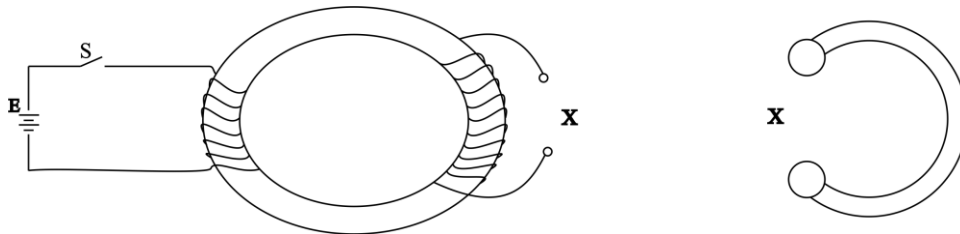
percobaan ini membuktikan bahwa cahaya dapat berinterferensi dan mengalami difaksi. Percobaan ini memperkuat teori gelombang cahaya. Huygens memperlemah teori partikel Newton karena menurut teori Newton cahaya merambat melalui garis lurus.

#### 3. Percobaan menurut Michaelson dan Moreley

Percobaan ini dilakukan untuk membuktikan ada atau tidak adanya eter diseluruh ruang dijagat raya ini, karena medium eter terdapat dimana-mana maka bumi yang berputar pada porosnya dengan kecepatan translasi sekitar 30 km/s dan sekitar bumi terdapat eter maka akan terjadi angin eter Michaelson dan Moreley melakukan pengujian terhadap angin eter maka mereka berkesimpulan bahwa angin eter tidak ditemukan, percobaan ini memperlemah teori gelombangnya Huygens.

#### 4. Percobaan Maxwell dan Rudolp Hertz

Maxwell menganalisa dan meramalkan bahwa cahaya merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan akibat dari terjadinya medan magnet atau medan listrik yang tidak konstan (“berubah terhadap waktu”). Analisa Maxwell ini diuji oleh R.Hertz dengan membuat perubahan medan listrik.



Gambar Percobaan R.Hetz

Pada percobaan ini sepasang lilitan dengan  $N_2$  (jumlah lilitan skunder) jauh lebih banyak dibanding  $N_1$  ( lilitan primer ) pada lilitan skunder dipasang bola konduktor dan ditempat lain disimpan pasangan bola konduktor juga ketika saklar ( S ) ditutup-buka pada bola konduktor sebelah kiri terdapat percikan bunga api dan ternyata pada pasangan konduktor yang lain terjadi pula percikan bunga api. Gelombang yang dihasilkan oleh percobaan ini menunjukkan sifat-sifat pemantulan ( refleksi ), difraksi dan polarisasi dapat diukur pula cepat rambat gelombang tersebut sama dengan cepat rambat gelombang cahaya yaitu  $3 \times 10^8$  m/s

#### 5. Percobaan Zeeman

Percobaan ini menunjukkan adanya pengaruh medan magnet terhadap cahaya, artinya cahaya dapat dibelokan oleh medan magnet yang kuat (Efek Zeeman ).

#### 6. Percobaan Stark

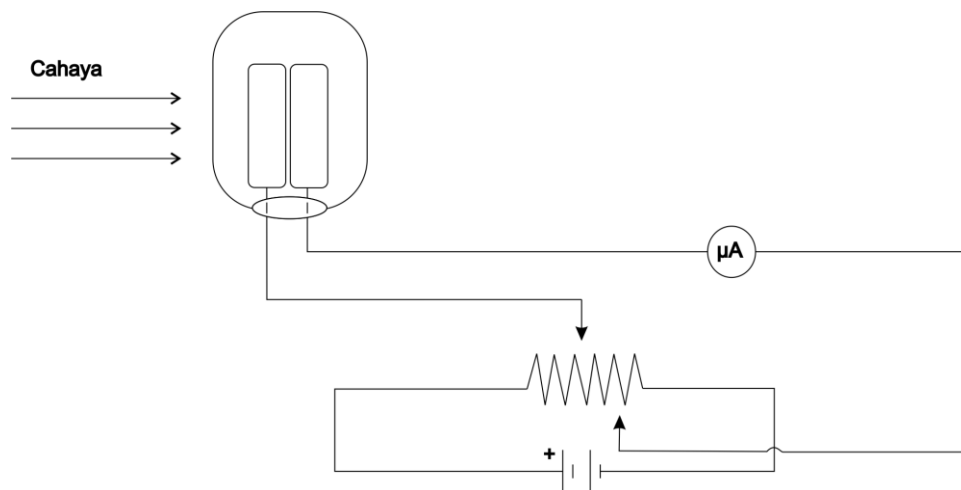
Percobaan ini cahaya dilewatkan pada medan megnet yang kuat dan ternyata cahaya mengalami pembelokan akibat medan listrik yang kuat.

Percobaan Zeeman dan Sark menunjukkan bahwa cahaya mempunyai sifat kelistrikan dan kemagnetan hal ini membuktikan bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik.

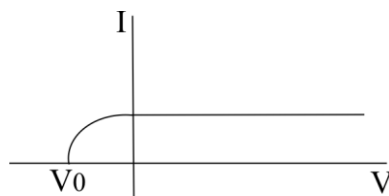
## 7. Percobaan Einstein

Dalam tahun 1905 Einstein memperluas gagasan yang diutarakan oleh Planck lima tahun sebelumnya dan mempostulatkan bahwa energi dalam berkas cahaya tidak terdistribusi secara merata didalam gelombang elektromagnetik, tetapi terkonsentrasi dalam paket-paket kecil yang dinamakan foton.

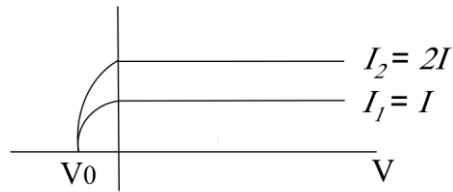
Einstein berhasil menunjukkan percobaan yang dapat membuktikan teorinya yakni efek photo listrik, sketsa dari percobaan photo listrik adalah sebagai berikut:



Cahaya dengan frekwensi tertentu dikenakan pada plat yang terdapat pada tabung hampa ternyata pada ampere meter menunjukkan adanya arus listrik yang mengalir, kemudian beda potensial kawat diberikan pada pasangan plat dan pada potensial tertentu arus akan berhenti.



Percobaan dilakukan dengan menambah intensitas cahaya dua kali dengan frekwensi tetap dan ternyata arus berhenti pada potensial kawat yang sama tetapi arus yang terjadi dua kali lipat.



Potensial kawat akan naik ketika frekwensi cahaya naik.

Peristiwa photo listrik ini hanya bisa dijelaskan menggunakan teori kuantum cahaya-cahaya berupa paket energi ( photon ) sebesar

$$E = h.f$$

Energi tersebut jika menumbuh plat sebagian energi digunakan untuk melepaskan electron dari ikatannya dan sisanya sebagai energi kinetic

$$hf = hfo + Ek$$

$hfo$  = energi untuk melepaskan elektron dari ikatannya.

Jika  $hf < hfo$  tidak akan terjadi arus listrik karena electron tidak sempat keluar dari ikatannya untuk melawan EK dari sumber yang frekwensinya tetap diperlukan harga yang sama intensitas cahaya yang semakin besar dapat dijelaskan dengan jumlah partikel yang semakin banyak, hal ini bertentangan dengan teori gelombang mekanik dimana energi berbanding lurus dengan intensitasnya.

### **Gelombang, Muka gelombang dan Sinar**

Gelombang adalah rambatan energi atau energi yang merambat dari satu tempat ke tempat lain.

Parameter-parameter gelombang antara lain :

Periode ( T ) dari suatu gelombang adalah waktu yang diperlukan untuk satu gelombang penuh.

Frekwensi ( f ) adalah jumlah getaran yang dihasilkan per detik ( $f=1/T$ ).

Panjang gelombang (  $\lambda$  ) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu periode.

Amplitudo ( A ) adalah simpangan maksimum dari gelombang.

Kecepatan ( V ) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam tiap satuan waktu.

Jika dalam T detik ditempuh  $\lambda$  meter

$$\text{Maka } V = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Jika dalam T detik ditempuh  $\lambda$  meter

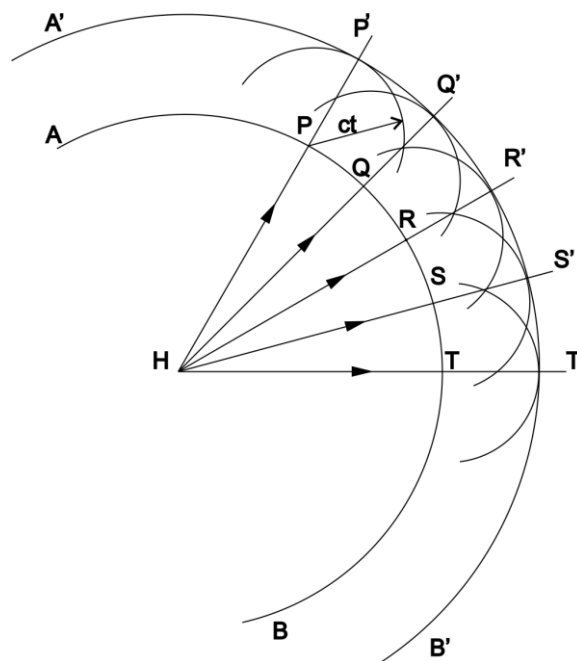
$$\text{Maka } V = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Maka gelombang didefinisikan sebagai tempat kedudukan semua titik dimana fase getaran dan fase gerak selaras suatu besaran fisika adalah sama.

Prinsip Huygens merupakan metoda geometris untuk menentukan bentuk muka gelombang pada suatu saat bila diketahui muka gelombang ( sebagiannya ) pada saat sebelumnya.

### Menurut Prinsip Huygens

“ Setiap titik pada suatu muka gelombang, dapat dipandang sebagai pusat gelombang skunder yang memancarkan gelombang baru ke segala arah dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Muka gelombang yang baru diperoleh dengan cara melukis sebuah permukaan yang menyinggung ( menyelubungi ) gelombang-gelombang skunder tersebut ”



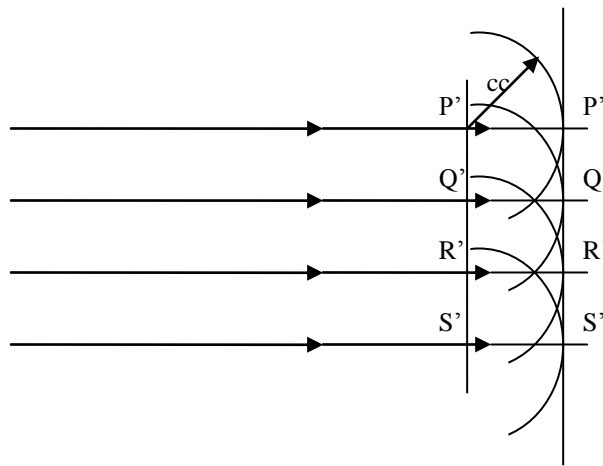
Gambaran prinsip Huygens untuk gelombang sferis

Gambar diatas melukiskan gelombang cahaya yang dipancarkan oleh sebuah titik M ke segala arah, pada suatu saat muka gelombang digambarkan sebagai permukaan bola AB, akan dicari muka gelombang baru pada t detik kemudian.



Menurut prinsip Huygens, setiap titik pada muka gelombang AB merupakan pusat gelombang baru ( gelombang skunder ) misalnya titik PQR, dengan titik tersebut dilukis sebagai pusat gelombang baru dengan jari-jari yang sama sebesar  $R = ct$ . maka gelombang baru yang berpusat di M adalah suatu permukaan yang menyelubungi semua gelombang-gelombang skunder tersebut yaitu permukaan  $A'B'$ .

Sinar gelombang adalah garis khayal yang ditarik dalam arah gerak gelombang. Untuk gelombang sferis ( bola ) seperti gambar diatas adalah garis  $PP'$ ;  $RR'$ ; atau jika dilihat dari sumber  $MP$ ;  $MQ$ ;  $MR$  garis-garis tersebut selalu tegak lurus muka gelombang untuk gelombang yang bersumber dari jauh sekali dapat digambarkan sebagai gelombang datar sebagai berikut



Gambaran prinsip Huygens untuk gelombang datar

PQRS adalah muka gelombang

$P'QRS'$  adalah muka gelombang baru

## MODUL II FISIKA OPTIK

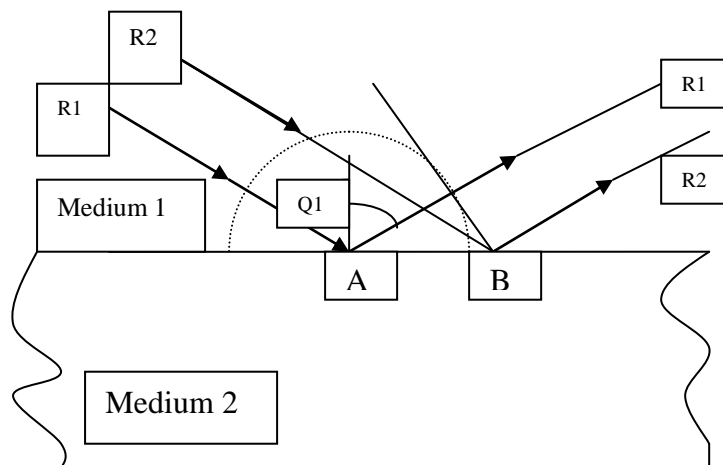
### Pemantulan dan pembiasan berdasarkan teori Huygens.

#### II.1 Penurunan hukum pemantulan berdasarkan Prinsip Huygens

Menurut prinsip Huygens setiap titik pada suatu gelombang dapat dipandang sebagai suatu pusat gelombang sekunder yang memancarkan gelombang baru ke segala arah dengan kecepatan yang sama pada suatu rambat gelombang.

Prinsip diatas jika digunakan untuk menjelaskan hokum pemantulan cahaya ,dapat dij,elas,kan sebagai berikut:

Perhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 2.1. Tentang proses pemantulan cahaya.

Jika medium 2 bersifat reflektor gelombang yang datang ke batas medium R1 dan R2 adalah sinar cahaya yang datang sejajar ketika R1 sudah mencapai batas medium yakni titik A R2 baru sampai titik B. Titik A merupakan sumber cahaya sekunder yang diatas dari A' sudah mencapai titik B' , maka sumber cahaya sekunder yang diatas dari A sudah mencapai titik A' karena dicapai pada titik A' pada waktu yang sama yakni waktu yang di tempuh AA' dan BB' selama t detik.

$$AA' = BB' = v1t.$$

Dapat dilihat dari gambar bawah bahwa:

$$\sin \theta_i = \frac{BB'}{AA'} = \frac{V_1 t}{AB'} \dots \dots \dots (1)$$

sedangkan,

$$\sin \theta_r = \frac{AA'}{AB'} = \frac{V_2 t}{AB'} \dots \dots \dots (2)$$

sehingga  $\sin \theta_i = \sin \theta_r$

atau  $\theta_i = \theta_r$

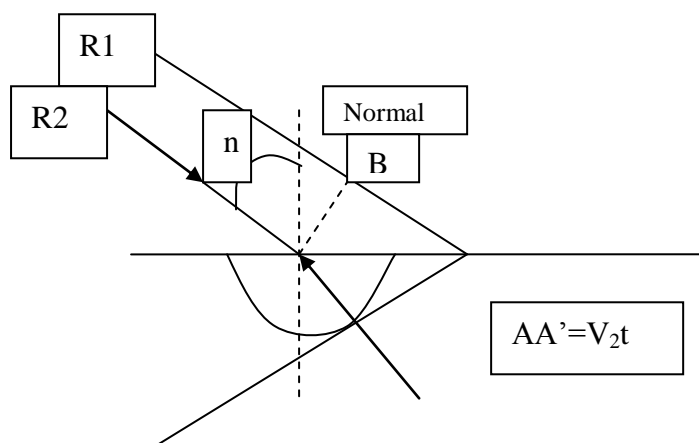
Pada pemantulan gelombang dikenal sudut datang sama dengan sudut pantul.

$\theta_i$  = Sudut datang yakni sudut yang dibentuk antara sinar datang dan garis normal

$\theta_r$  = Sudut yang dibentuk antara garis normal dan garis yang dipantulkan

## II.2 Penurunan hukum pembiasan berdasarkan prinsip Huygens.

Prinsip Huygens juga dapat digunakan untuk menjelaskan hukum pembiasan, jika gelombang datang dari suatu medium ke medium lain yang dapat meneruskan gelombang. Untuk menjelaskan peristiwa pembiasan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 peristiwa pembiasan gelombang cahaya.

Penjelasan dari peristiwa bahwa pembiasan gelombang cahaya adalah sebagai berikut:

Pembiasan adalah peristiwa sebuah gelombang yang datang dari suatu medium ke medium lain yang berbeda.

Seperti dilihat pada gambar R1 dan R2 adalah dua sinar sejajar ketika R1 mencapai batas medium dititik A sinar R2 mencapai titik B. Pada waktu t detik medium 1 gelombang mencapai jarak  $AA' = v_1 t$

$$\sin \theta_1 = \frac{BB'}{AA'} = \frac{v_1 t}{AB'} \dots \dots \dots (3)$$

$$\sin \theta_2 = \frac{AA'}{AB'} = \frac{v_2 t}{AB'} \dots \dots \dots (4)$$

Dari persamaan 3 dan 4 :

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1 t}{AB'} \cdot \frac{AB'}{v_2 t}$$

$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$
---

Hukum pembiasan.

Perbandingan  $v_1$  terhadap  $v_2$  selalu konstan dan dapat didefinisikan sebagai suatu indeks bias relative atau :

Indeks bias relative antara dua medium dapat didefinisikan yaitu perbandingan kecepatan gelombang cahaya dalam medium-medium tersebut.

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 v}{\lambda_2 v} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$n_{21}$  adalah indeks bias untuk sinar cahaya datang dari medium 1 ke medium 2

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 f}{\lambda_2 f} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

### Indeks bias absolut

Jika kecepatan cahaya udara atau ruang hampa ( $c$ ) digunakan sebagai acuan maka indeks bias suatu medium atau indeks bias absolute suatu medium  $a$ , adalah ‘perbandingan antara kecepatan cahaya diudara atau vakum dan kecepatan cahaya di medium tersebut ‘.

$$n = \frac{c}{v} \dots\dots\dots(5)$$

$n_{21}$  adalah indeks bias relatf jika cahaya datang dari medium 1 ke medium 2

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_2}{c/n_1}$$

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots(6)$$

sehingga

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

atau

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

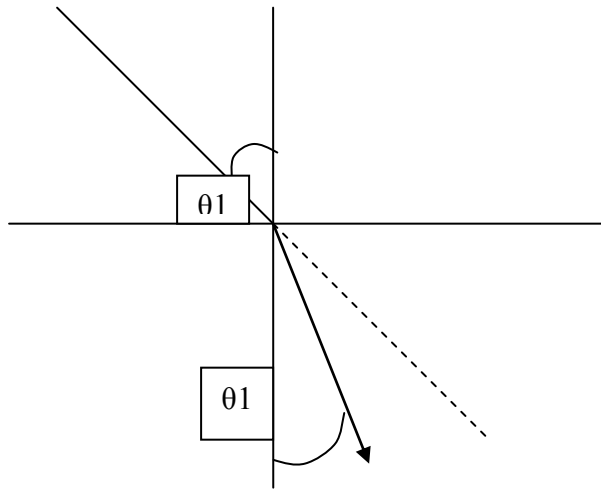
Persamaan no 7 dikenal sebagai hokum snellius untuk pembiasan

Dari persamaan no 7 dpat terjadi beberapa kemungkinan hubungan antara  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  dengan asumsi gelombang datang dari medium 1 ke medium 2 sebagai berikut :

1. Bila  $v_2 < v_1$  atau  $n_2 > n_1$  ,atau  $n_2 > n_1$ , akan diperoleh dengan kata kata sebagai berikut:  
 Jika gelombang datang dari medium renggang ke medium yang lebih padat maka akan dibiaskan mendekati garis normal .
2. Bila  $v_2 > v_1$  atau  $n_2 < n_1$  atau  $n_2 < n_1$  , akan diperoleh  $\theta_2 > \theta_1$ , atau dengan kata – kata : jika gelombang datang dari medium yang lebih renggang ke medium yang lebih padat maka gelombang akan dibiaskan menjauhi garis normal.
3. Bila  $v_2 > v_1$  atau  $n_2 < n_1$   
 sudut datang  $\theta_1$  sudut bias sebesar 90 di sebut senagai sudut krisis  
 jika  $v_2 > v_1$  atau  $n_2 < n_1$  sudut datang lebih besar dari sudut kritis maka akan terjadi refleksi total.

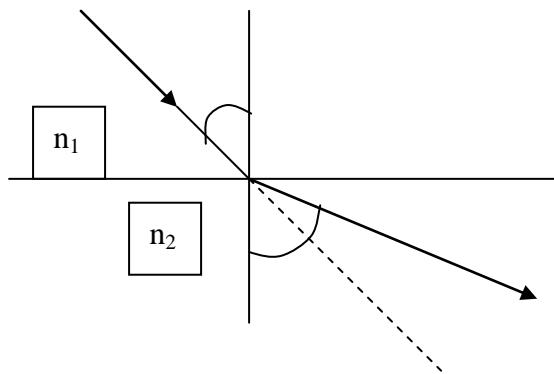
Gambar 2.3 , yang menyatakan kondisi diatas

1. sinar bias untuk  $n_2 > n_1$



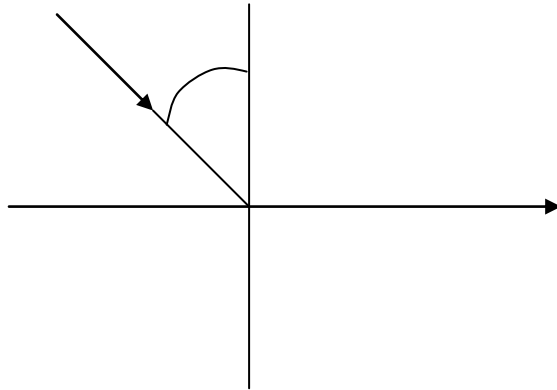
Gambar 2.3.

2. Sinar datang dari  $n_1$  ke  $n_2$  dimana  $n_1 > n_2$



Gambar 2.4.

3. Untuk  $\theta_1 > \theta_2$  untuk sinar datang dari  $n_1$  ke  $n_2$ , dimana  $n_1 > n_2$  &  $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \pi / 2$$

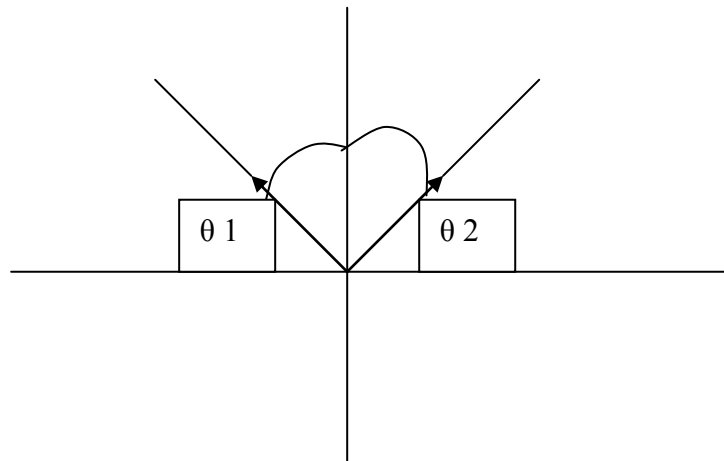
$$\text{dimana } \theta_1 = \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_c = n_2$$

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1$$

$$\theta_c = \text{inv sin}(n_2 / n_1)$$

4. Untuk  $\theta_1 > \theta_2$  untuk sinar datang dari  $n_1$  ke  $n_2$  &  $n_1 > n_2$  terjadi refleksi total



Gambar 2.5

**MODUL III**  
**FISIKA OPTIK**  
**PEMANTULAN DAN PEMBIASAN CAHAYA 2**

Tujuan umum :

- Setelah membaca modul ini diharapkan dapat memahami Hukum Pemantulan dan Pembiasan Cahaya berdasarkan Prinsip Fermat

Tujuan Khusus :

- Penurunan hukum Pemantulan Cahaya berdasarkan Prinsip Fermat
- Penurunan hukum Pembiasan Cahaya berdasarkan Prinsip Fermat.



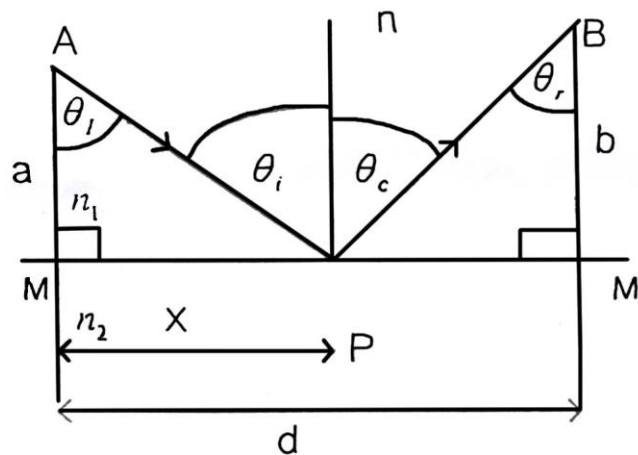
### III. 1 Prinsip Fermat

Dalam tahun 1650 PIERE Fermat mengungkapkan suatu prinsip tentang perjalanan cahaya sebagai berikut :

“ Sinar cahaya yang menjalar dari suatu titik ke titik lain akan melalui lintasan dengan waktu tempuh terpendek “

#### Prinsip fermat untuk menurunkan titik pematulan

Jika cahaya datang dari suatu medium ke medium lain yang berwarna mengkilat maka cahaya mengalami pemantulan, jika kita gunakan prinsip fermat dapat di tunjukkan pada gambar sbb :



Gambar 3.1 Sinar dari titik A dipantulkan di P sampai di B

Menurut fermat dari APB akan melalui lintasan dengan waktu tempuh terpendek.

$$L = AP + PB$$

$$t = t_{AB} + t_{PB}$$

$$t = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{v} + \frac{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}}{v} \quad \text{Letak titik P harus sedemikian rupa sehingga}$$

waktu tempuh dari APB adalah minimum dengan syarat  $dt/dx = 0$

$$0 = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2}(a^2 + x^2)^{-1/2}(2x) + \frac{1}{2}(b^2 + (d-x)^2)^{-1/2}(2)(d-x)(-1)$$

Sehingga didapat

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{d-x}{\sqrt{a^2 + (d-x)^2}}$$

Dilihat dari gambar secara geometri dapat ditafsirkan :

$$\sin\theta_i = \sin\theta_r \quad \text{maka } \theta_i = \theta_r, \text{ terbukti}$$

Ini tidak lain adalah hukum pemantulan :

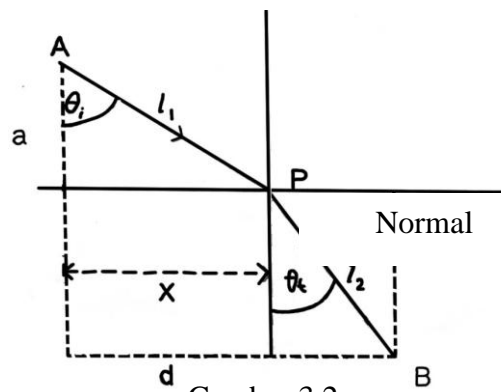
Dimana :

$\theta_i$  = sudut datang yakni sudut yang dibentuk antara sinar datang dan garis normal

$\theta_r$  = sudut pantul yakni sudut yang dibentuk antara sinar datang dan garis normal

### III.2 Prinsip Fermat untuk menurunkan titik pembiasan

Sinar datang dari sudut medium ke medium lain yang diteruskan dengan mengalami pembelokan karena terjadi perubahan kecepatan misalkan sinar cahaya datang dari kemedium 2.



Gambar 3.2

Sinar datang dari A ke P lalu dibiaskan sehingga mencapai titik B

Waktu yang ditempuh sinar APB adalah :

$$t = t_{AP} + t_{PB}$$

$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$$

$$t = \frac{I_1}{cn_1} + \frac{I_2}{cn_1} = \frac{n_1 I_1}{c} + \frac{n_2 I_2}{c}$$

Sesuai dengan prinsip fermat

$$\frac{dx}{dt} = 0 = \frac{n_1}{c} \left( \frac{1}{2} \right) 2x \left[ a^2 + x^2 \right]^{-1/2} + \frac{1}{2} \frac{n_2}{c} \cdot 2(d-x)(-1)(b^2 + (d-x)^2)^{-1/2}$$

$$0 = \frac{n_1 x}{c(a^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{n_2(d-x)}{c(b^2 + (d-x)^2)^{1/2}}$$

atau

$$n_1 \left[ \frac{x}{(a^2 + x^2)^{1/2}} \right] = n_2 \left[ \frac{(d-x)}{(b^2 + (d-x)^2)^{1/2}} \right]$$

Jika diperhatikan gambar 2.8 diatas terlihat secara geometri

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

Persamaan tersebut diatas tidak lain adalah Hukum Snell untuk pembiasan.

### Contoh dan Penyelesaian

1. Cari indek bias susunan medium sebagai berikut :

Udara ( $n_u = 1$ )

Jawab :

$$n_{au} = \frac{n_a}{n_u} = \frac{4/3}{1} = \frac{4}{3} = 1,33$$

2. Cari indek bias untuk susunan medium sebagai berikut :

udara

Air $n_a$
Gelas $n_g$

Jawab :

$$n_{au} = \frac{n_a}{n_u}$$

$$n_{gu} = \frac{n_g}{n_u}$$

$$n_{ug} = \frac{n_u}{n_g}$$

$$n_{au} \times n_{ga} \times n_{ug} = \frac{n_a}{n_u} \times \frac{n_g}{n_a} \times \frac{n_u}{n_g} \\ = 1$$

3. Cari indeks bias jika cahaya datang air ( $n_a = 4/3$ ) ke gelas ( $n_g = 3/2$ )

Jawab :

Na
Ng

$$n_{ga} = \frac{n_g}{n_a} = \frac{3/2}{4/3} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$$

4. Berkas sinar dari kaca ( $n_k = 1.5$ ) jatuh pada medium air ( $n_a = 4/3$ ) jika sudut datang  $30^\circ$

Cari sudut bias

Jawab :

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_a}{n_k}$$

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin \theta_t} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{4}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{9}$$

$$\sin 30^\circ = 8/9 \sin \theta$$

$$0.5 \times 9/8 = \sin \theta$$

$$\theta = \text{inv sin}(0.5625)$$

$$\theta = 34,22$$

5. Cahaya yang masuk dari udara dengan frekuensi  $5 \times 10^{14}$  Hz masuk ke air ( $n_a = 4/3$ ). Tentukan :

- a. Panjang gelombang cahaya diudara (dihitung dalam satuan

Angstrong)

- b. Panjang gelombang cahaya di air
- c. Cepat rambat cahaya di air

Jawab :

$$a. \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{14}} = 0,6 \times 10^{-6} = 6 \times 10^{-7}$$

$$\lambda = 6000 \times 10^{-10} m = 6000 \text{ \AA}$$

$$b. n_{au} = \frac{\lambda_u}{\lambda_a}$$

$$\frac{n_u}{n_a} = \frac{6 \times 10^{-7}}{\lambda_a}$$

$$\frac{1}{4/3} = \frac{6 \times 10^{-7}}{\lambda_a}$$

$$\lambda_a = 3/4 \times 6 \times 10^{-7} = 4,5 \times 10^{-7}$$

$$c. v_a = \lambda_a \cdot f$$

$$= 4,5 \times 10^{-7} \times 10^{14}$$

$$= 22,5 \times 10^7 = 2,25 \times 10^8 \text{ m/s}$$

6. a. Apa yang dimaksud dengan sudut kritis
- b. Tentukan sudut kritis untuk cahaya yang datang dari kaca ( $n_k = 1,5$ ) ke air ( $n_a = 4/3$ )

Jawab :

- a. Sudut kritis terjadi jika sinar datang dari medium padat ke medium renggang dengan sudut bias mencapai 90°.

$$b. n_k \sin \theta_c = n_a \sin 90^\circ$$

$$1,5 \sin \theta_c = 4/3$$

$$\sin \theta_c = \frac{4/3}{1,5} = \frac{4}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{9}$$

$$\theta_c = \text{inv sin}(0,8888)$$

$$= 62,72^\circ$$

7. Jika cahaya datang dari udara ke air ( $n_a = 4/3$ )

- a. Apakah sudut bias lebih besar atau lebih kecil dibanding sudut datang (jelaskan) ?
- b. Mungkinkah terjadi refleksi total, (jelaskan) ?

Jawab :

- a. Karena  $n_a > n_u$  maka sudut bias selalu lebih kecil dari sudut datang (cahaya datang dari medium renggang ke medium yang lebih padat sehingga sudut bias lebih kecil dari sudut datang).
- b. Refleksi total terjadi karena sudut pandang melebihi sudut batas (sudut kritis)

Karena cahaya datang dari medium renggang ke medium yang lebih padat maka tidak akan terjadi sudut kritis dengan sendirinya tidak akan refleksi total.

**MODUL IV**  
**FISIKA OPTIK**  
**SPEKTRUM GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**  
**DAN SPEKTRUM WARNA**

Tujuan :

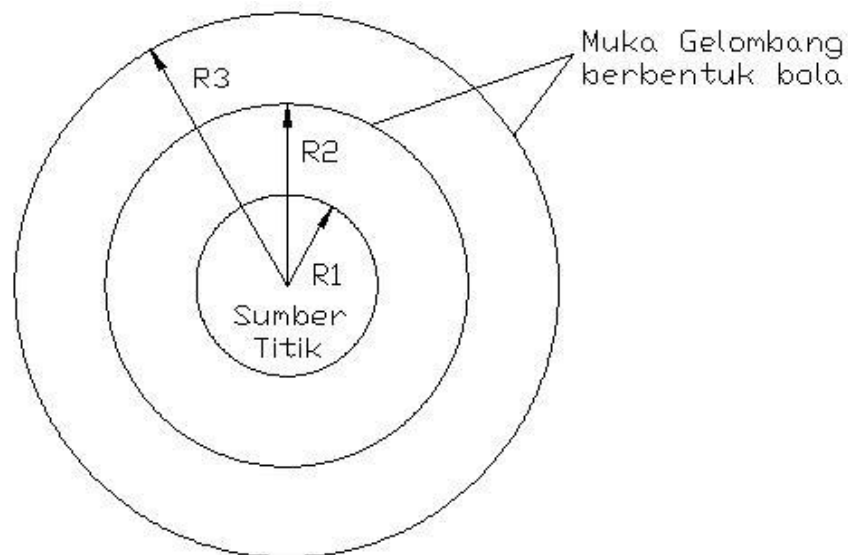
- \* Setelah menyelesaikan modul diharapkan dapat memahami Spektrum Gelombang Elektromagnetik Dan Spektrum Warna

Pokok-pokok pembahasan :

- \* Spektrum gelombang elektromagnetik
- \* Physics Kanisstern Heim
- \* University Physics Francis Westonsears

## Spektrum gelombang electromagnet

Gelombang elektromagnet terjadi akibat medan magnet atau medan listrik yang berubah terhadap waktu gelombang elektromagnet yang dipancarkan oleh sumber akan merambat ke segala arah oleh karenanya akan membentuk muka gelombang berbentuk tertutup



Gambar 4.1 Tempat kedudukan dengan fase yang sama

Muka gelombang merupakan tempat kedudukan titik-titik dengan fase yang sama seperti terlihat pada gambar diatas.

Dari peburuan persamaan Maxwell dapat diketahui cepat rambat gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada sifat kemagnetan dan kelistrikan median

$$C = \sqrt{\frac{1}{\mu\varepsilon}}$$

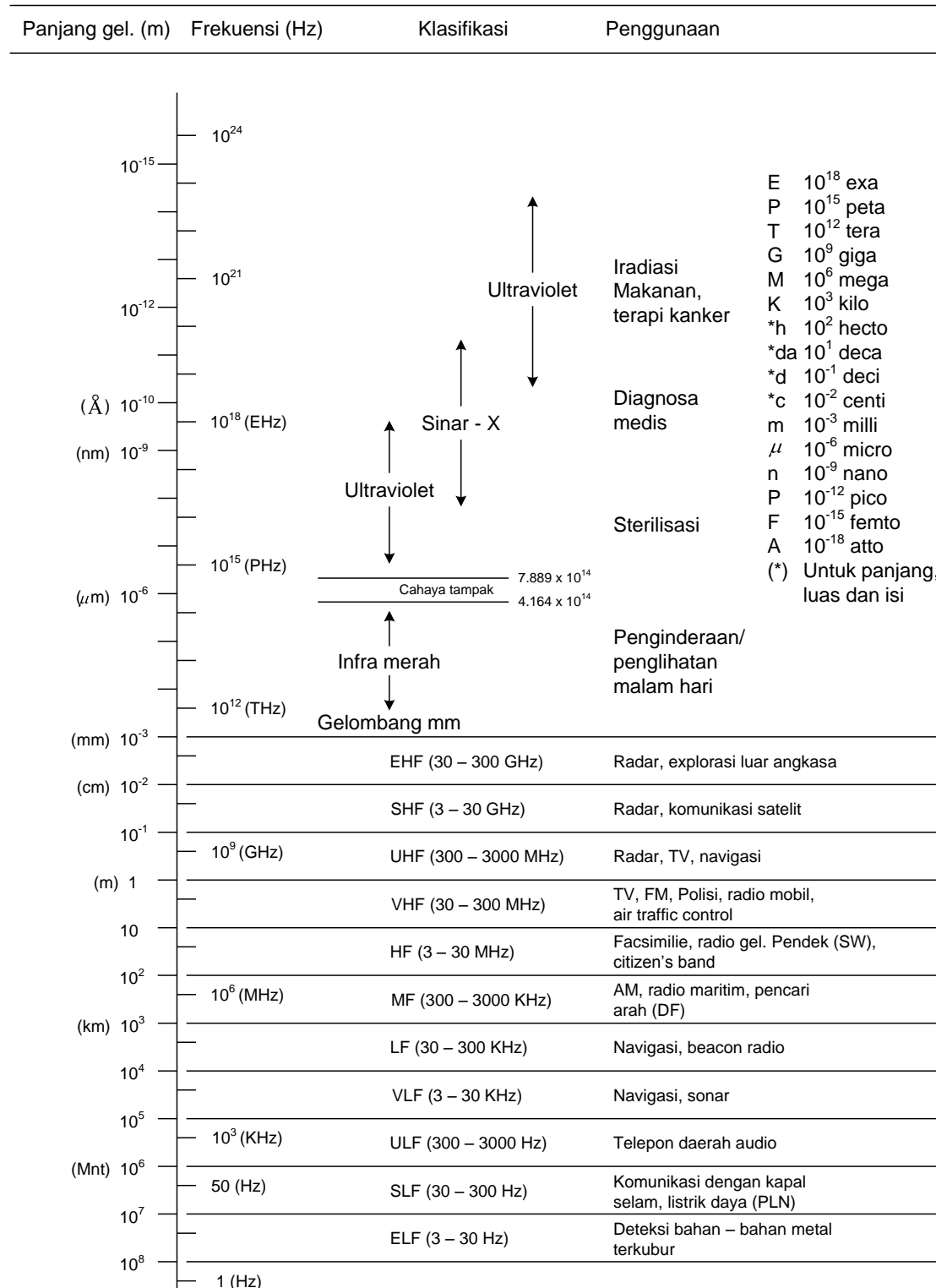
C = Cepat rambat gelombang

$\mu$  = Pemerbilitas ruang magnet medium

$\varepsilon$  = Pemerbilitas listrik medium



Gelombang electromagnet mempunyai spektrum yang sangat luas dengan penggunaan yang sangat banyak seperti terlihat pada table 4.1



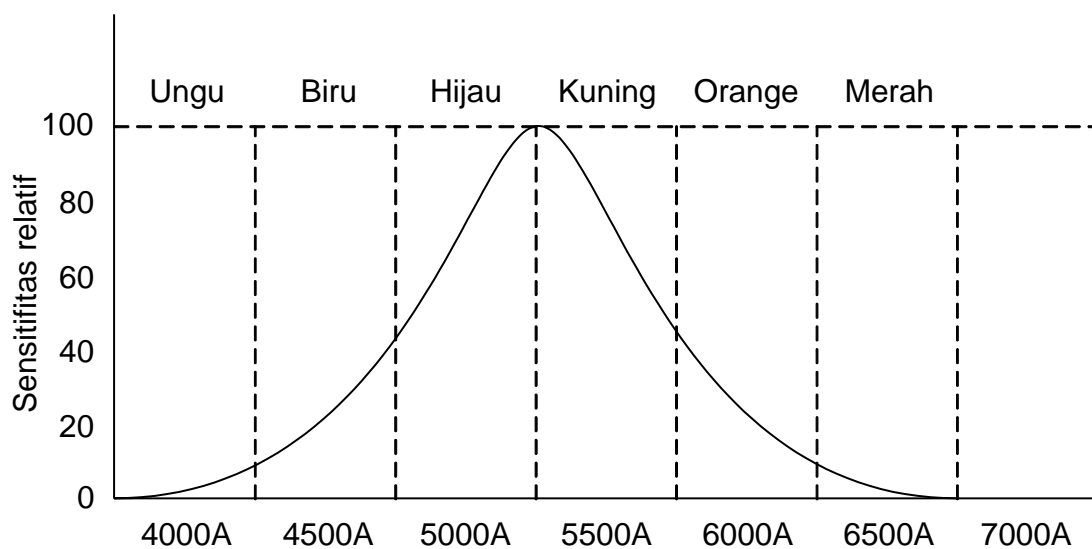
- E 10<sup>18</sup> exa
- P 10<sup>15</sup> peta
- T 10<sup>12</sup> tera
- G 10<sup>9</sup> giga
- M 10<sup>6</sup> mega
- K 10<sup>3</sup> kilo
- \*h 10<sup>2</sup> hecto
- \*da 10<sup>1</sup> deca
- \*d 10<sup>-1</sup> deci
- \*c 10<sup>-2</sup> centi
- m 10<sup>-3</sup> milli
- μ 10<sup>-6</sup> micro
- n 10<sup>-9</sup> nano
- P 10<sup>-12</sup> pico
- F 10<sup>-15</sup> femto
- A 10<sup>-18</sup> atto
- (\*) Untuk panjang, luas dan isi

Daerah panjang gelombang tampak bagi manusia : 750 (nm) – 380 (nm)

(Deep red) (Violet)

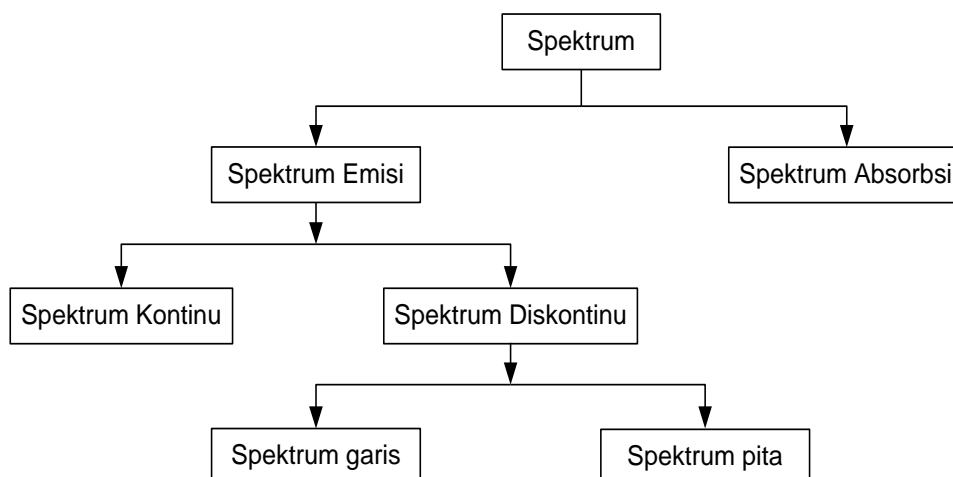
## 4.2 Spektrum warna

Seperti terlihat pada table 4.1 cahaya tampak adalah bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh mata normal manusia disebut cahaya tampak dan mempunyai panjang gelombang diantara 4000 A sampai dengan 7000 A singkatan dari Angstrom yakni  $10^{10}$  m mata manusia mempunyai sensitivitas tertentu terhadap gelombang cahaya seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 sensitivitas mata manusia

Dari gambar tersebut sensitivitas mata relative dari seorang pengamat standard memperhatikan pusat daerah tampak kira-kira 5550 A (sensai kuning dan hijau). Secara garis besar spektrum warna dapat dibagi seperti gambar 4.3



Gambar 4.3

### Spektrum Emisi

Adalah cahaya yang dipancarkan oleh benda-benda (cair, padat, gas) dalam keadaan menyala

Contoh :

Spektrum emisi terjadi misalnya besi dipanaskan sampai pada temperatur tertentu dan pada tekanan tertentu berpijar merah.

### Spektrum Emisi kontinu

Adalah spektrum emisi yang dapat memancarkan cahayanya tidak terdapat garis-garis hitam. Spektrum demikian tidak usah mengandung warna yang lengkap merah sampai dengan ungu cukup beberapa warna saja

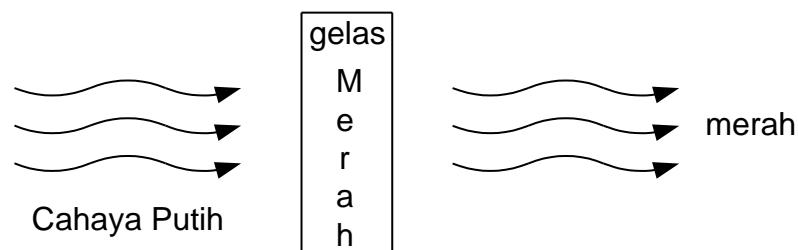
### Spektrum Emisi Diskontinu

Spektrum emisi diskontinu adalah spektrum emisi yang pada saat menyalnya terdapat garis atau pita hitam yang bukan pada penyerapan

### Spektrum absorpsi

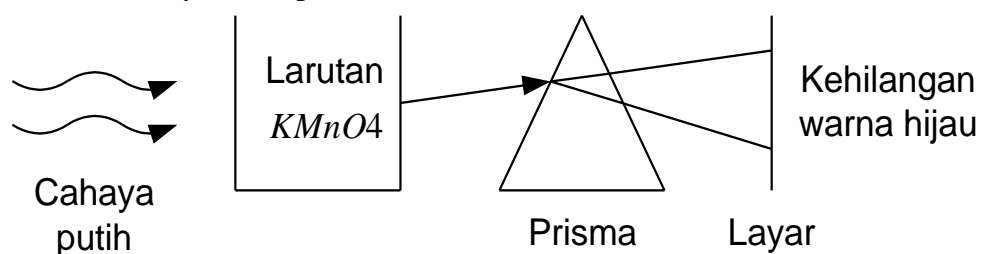
Apabila cahaya putih masuk melalui zat terjadi penyerapan salah satu atau beberapa warnanya.

Contoh :



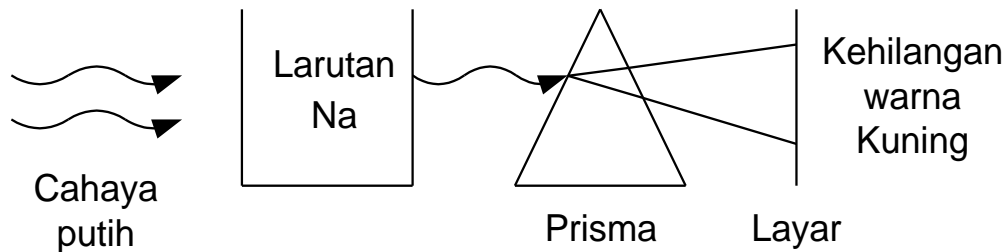
Gambar 4.4

Cahaya putih adalah cahaya polikromatis terdiri beberapa warna setelah melewati gelas semua warnanya diserap kecuali warna merah dan warna merah diteruskan.



Gambar 4.5

Cahaya putih yang dilewatkan melalui larutan setelah melalui prisma ternyata warna yang ditangkap layar tidak lengkap yakni kehilangan warna hijaunya.



Gambar 4.6

### 4.3 Hukum Kirchoff dan Bunsen

Dari hasil pengamatan Kirchoff dan Bunsen didapat suatu hasil sebagai berikut :

“Bila berkas cahaya melalui sesuatu gas atau uap maka gas atau uap akan menyerap warna-warna sesuai dengan warna yang dipancarkannya ketika gas atau uap tersebut menyala”

Contoh :

1. Na ketika menyala menghasilkan warna kuning,  
Maka jika cahaya putih melalui gas Na akan kehilangan warna kuningnya karena diserap oleh gas Na tersebut
2. Gas  $H_2$  ketika menyala menghasilkan warna merah, hijau dan ungu maka jika cahaya putih dilewatkan melalui gas  $H_2$  akan kehilangan warna merah, hijau, dan ungu karena diserap oleh gas  $H_2$

#### Garis Fraunhofer

Matahari terdiri dari gas-gas yang bersuhu tinggi gas tersebut memancarkan spektrum kontinu bagian luar matahari suhunya lebih rendah dan gas yang ada di bagian luar menyerap warna-warna sehingga terjadi garis-garis hitam yang disebut garis Fraunhofer spektrum matahari terhadap sekitar 18000 Fraunhofer.

## **Warna benda**

Warna yang terlihat pada benda 2 dibedakan dalam 2 jenis yaitu:

1. Warna benda tembus cahaya

Warna yang tampak tergantung dari warna cahaya yang diteruskan

2. Warna benda tak tembus cahaya.
3. Warna yang tampak bergantung dari warna yang dipantulkannya.

## **MODUL V**

### **FISIKA OPTIK**

### **FOTOMETRI**

#### **Tujuan Instruksional Umum :**

- Setelah mempelajari bahasan ini mahasiswa diharapkan dapat menganalisa Fotometri.

#### **Tujuan Instruksional Khusus :**

1. Mempelajari Pengertian Fluks cahaya.
2. Menjelaskan standard dan Lumen.
3. Menjelaskan Intensitas cahaya dari sebuah sumber titik.
4. Menjelaskan tentang cahaya.

#### **Daftar Pustaka :**

- |                   |                                 |
|-------------------|---------------------------------|
| 1.Kane & Stemheim | Physics 3 <sup>rd</sup> Edition |
| 2.Giancolli       | Physics                         |
| 3.Sutrisno        | Fisika Dasar IV ITB             |

## 5.1 Fluks Cahaya

Energi radiasi (sering disebut energi radian) yang dipancarkan persatuan waktu tergantung pada temperatur dan sifat permukaan benda yang memancarkan, dan pancaran tersebut meliputi sepanjang gelombang yang berbeda-beda.

Pada temperatur  $3000^{\circ}\text{C}$  -  $800^{\circ}\text{C}$ , benda nyala berwarna merah, tetapi bagian terbesar energi yang dipancarkan berda pada gelombang infra merah. Pada suhu  $3000^{\circ}\text{C}$ , energi radian mengandung banyak gelombang yang nampak , yaitu antara  $400\text{ m}\mu$  dan benda kelihatan hampir putih.

Prinsip bekerjanya sumber cahaya (lampu-lampu) pada dasarnya tenaga listrik yang digunakan sebagian hilang (berubah) menjadi energi kalor dan sebagian menjadi energi radian .

Energi radian yang dipancarkan persatuan waktu disebut daya radian atau fluks radian. Bagian dari fluks radian yang dapat mempengaruhi indra penglihatan disebut fluks cahaya.

Indra penglihatan yang timbul karena fluks cahaya mempunyai tiga ciri, yaitu warna, pemjenuhan dan terangnya cahaya. Indra warna memungkinkan kita membedakan mana yang merah, hijau , biru, dan sebagainya. Yang dimaksud dengan penjenuhan adalah sampai berapa jauh penglihatan itu menyimpang dari warna abu-abu yang netral.

Indra penglihatan mata terhadap terang cahaya dilukiskan pada gambar (5.1), yang memperlihatkan seurutan segi iempat-segi empat yang berwarna abu-abu netral, yaitu antara segi empat berwarna putih sampai hitam. Segi empat putih menimbulkan perasaan terang paling kuat terhadap cahaya, segi empat hitam menimbulkan rasa terang yang paling kurang, dan segiempat lainnya memberikan rasa terang yang terletak antara kedua rasa terang tadi. Dari hasil eksperimen ternyata bahwa jumlah fluks radian yang sama tetapi panjang gelombangnya berbeda , tidak menghasilkan kesan terang cahaya yang sama.



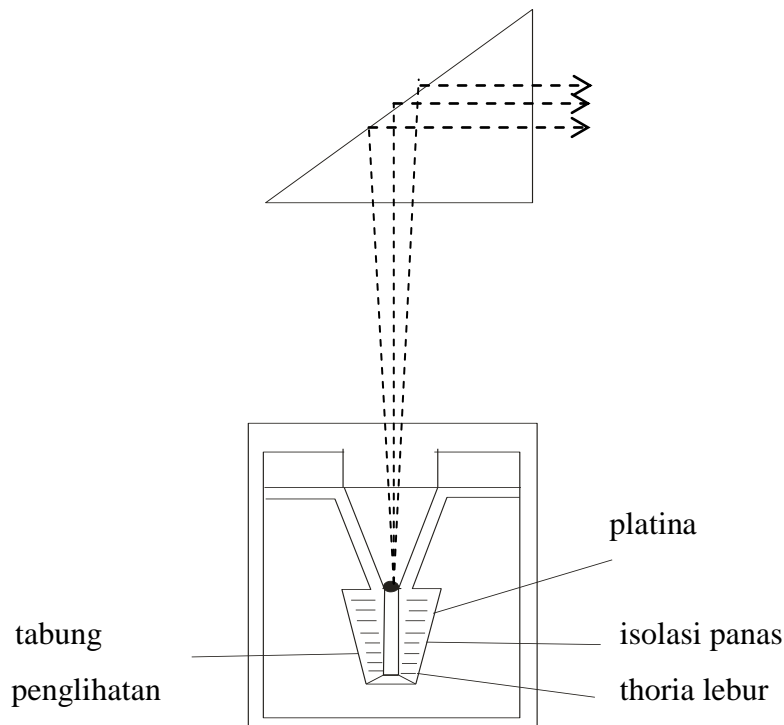
Gambar 5.1

Skala warna abu-abu untuk menggambarkan rasa terang cahaya. Kesan terang terbesar oleh persegi empat paling kiri dan terkecil oleh persegiempat yang terakhir.

## 5.2 Sumber Standard dan Lumen

Mula-mula sebagian satuan fluks cahaya (yang berkaitan dengan terang cahaya) dipakai lilin, kemudian diganti dengan sejumlah lampu karbon, selanjutnya dengan persetujuan internasional, secara garis besar terlihat pada gambar (5.2).

Fluks cahaya yang dipancarkan sumber standard tergantung pada luas ujung yang terbuka dan ukuran kerucut radiasi yang disebut sudut ruang.



Gambar 5.2 Sumber cahaya standard internasional

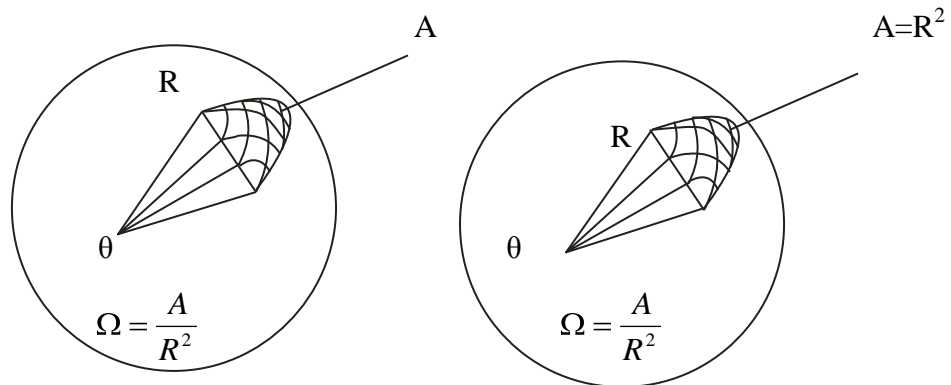
Pada gambar 5.3a diperlihatkan susunan garis-garis yang diradiasikan dari suatu titik P sebagai pusat permukaan bola dengan jari-jari R. Susunan garis-garis radiasi memotong permukaan bola A. Ukuran sudut didefinisikan sebagai perbandingan A dengan kuadrat jari-jari atau secara matematis.

$$Q = \frac{A}{R^2}$$

dengan satuan set radian



Bila luas A dapat sama dengan  $R^2$  maka  $\Omega = 1$  (gambar IV.9a)



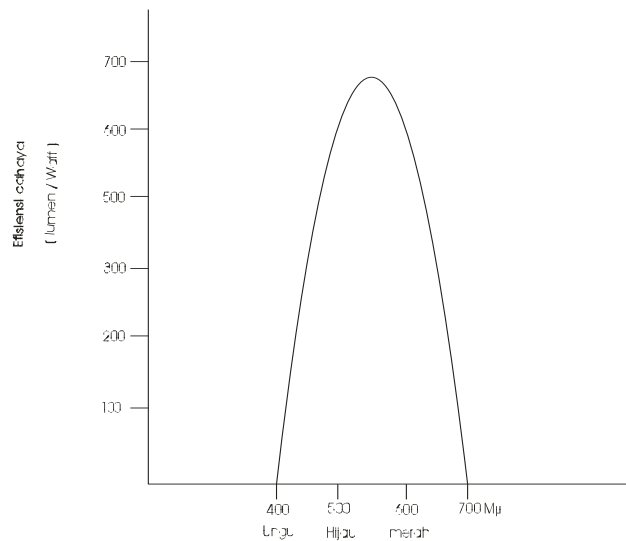
Gambar 5.3a sudut ruang dan b. Defenisi set-radian

Luas permukaan bola seluruhnya adalah  $4\pi R^2$ , maka sudut ruang total pada suatu titik:

$$Q_{total} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ set-radian}$$

Satuan fluks cahaya adalah lumen, didefenisikan sebagai berikut satu lumen adalah cahaya yang dipancarkan dari 1/16 cm ujung terbuka sumbu standard dan mengandung sudut ruang dari ste-radian. Perbandingan antara fluks cahaya dan fluks radian disebut efesiensi cahaya dan dinyatakan dengan lumen per watt.

Dengan pertolongan Flicter foto meter, dapat dibandingkan kesan terangnya cahaya yang dirangsang oleh sumbu cahaya, umpamanya satu watt cahaya dari suatu warna, dengan kata lain dapat diukur fluks cahaya dalam lumen dari satu watt cahaya berwarna sebagai contoh (berdasarkan percobaan), satu watt cahaya hijau dengan panjang gelombang  $555\text{m}\mu$  mempunyai fluks cahaya 685 lumen, sedang satu watt cahaya kuning dengan panjang gelombang  $600\text{m}\mu$  mempunyai fluks cahaya 411 lumen. Dari hasil percobaan ternyata bahwa normal sangat peka terhadap cahaya kuning-hijau dengan panjang gelombang  $555\text{m}\mu$



Gambar 5.4 Efisiensi cahaya sebagai fungsi panjang gelombang

### 5.3 Iluminans (penerangan)

Bila fluks cahaya mengenai satu permukaan, dikatakan permukaan itu diterangi.

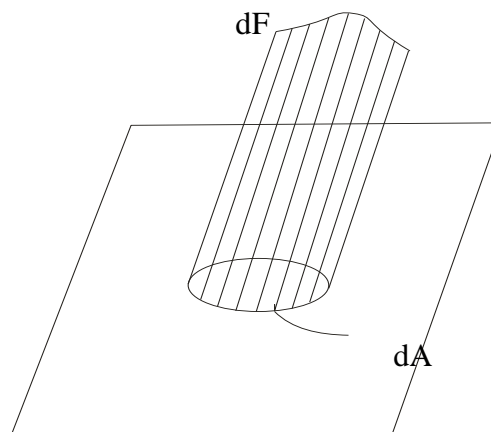
Perhatikan gambar (5.4) Pada suatu permukaan dibuat suatu daerah kecil  $dA$ , dan daerah ini dikenai fluks cahaya  $dF$ , iluminans  $E$  pada titik tersebut didefinisikan sebagai

$$E = \frac{dF}{dA}$$

Jadi iluminans adalah fluks cahaya yang menyinari persatuan luas. Dalam teknik penerangan dinyatakan dalam lumen per meter kuadrat atau lux.

Jika penerangan disetiap titik permukaan yang luasnya  $A$  sama dengan  $F$  adalah fluks cahaya yang mengenai permukaan tersebut, maka persamaan diatas menjadi:

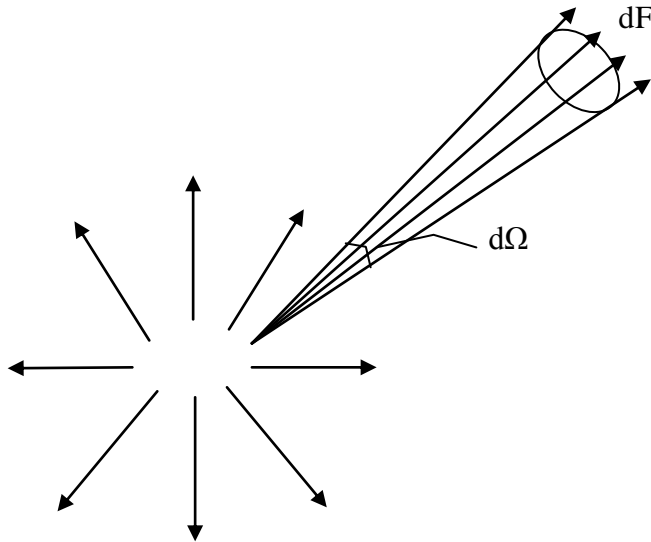
$$E = \frac{F}{A}$$



Gambar 5.5 Fluks cahaya  $dF$  jatuh pada permukaan seluas  $dA$

#### 5.4 Intensitas Cahaya dari Suatu Sumber Titik

Perhatikan gambar (5.6) adalah sumber titik cahaya yang memancarkan fluks cahaya ke segala arah. Ambil fluks  $dF$  dari suatu kerucut dengan sudut ruang  $d\Omega$  steradian yang puncaknya di  $S$ .



Gambar 5.6 Intensitas sumber titik

Intensitas cahaya dalam arah kerucut didefinisikan sebagai perbandingan fluks  $dF$  dengan sudut  $d\Omega$  atau sebagai fluks cahaya yang dipancarkan persatuan sudut ruang. Secara matematis intensitas cahaya dinyatakan:

$$I = \frac{dF}{d\Omega}$$

Satuan intensitas cahaya adalah lumen per steradian, satuan ini disebut juga lilin atau (candle). Biasanya suatu sumber cahaya tidak memancarkan jumlah fluks persatuan sudut ruang yang sama ke semua arah, jadi umumnya intensitas cahaya suatu sumber berbeda untuk arah yang berlainan. Suatu sumber titik (ideal) yang memancarkan fluks cahaya merata ke semua arah disebut sumber titik uniform (serba sama).

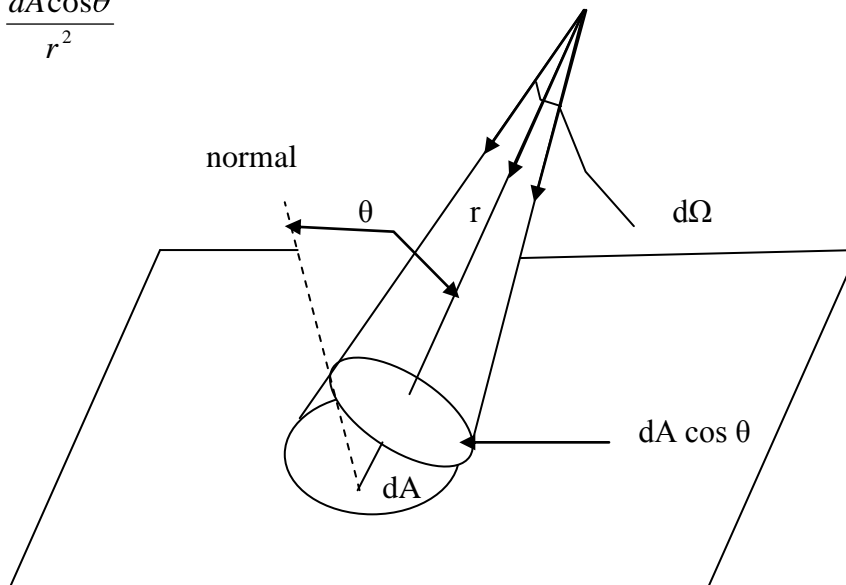
Jika sumber tersebut mempunyai intensitas cahaya adalah  $I$  lilin (lumen per steradian).

Sudut ruang total titik adalah  $4\pi$  steradian, maka sumber titik tersebut memancarkan fluks total  $4\pi I$  lumen.

### 5.5 Iuminans yang Dihasilkan oleh Sebuah Sumber Titik

Perhatikan gambar (4.12),  $dA$  adalah lumen luas suatu permukaan yang normalnya membentuk sudut  $\theta$

$$d\Omega = \frac{dA \cos \theta}{r^2}$$



Gambar 5.7 Iuminans suatu permukaan oleh sebuah sumber titik

Dari persamaan:

$$I = \frac{dF}{d\Omega}, \text{ maka } dF = Id\Omega = \frac{IdA \cos \theta}{r^2}$$

semua fluks  $dF$  tersebut mengenai elemen luas  $dA$  sehingga iluminans  $E$  adalah:

$$E = \frac{dF}{dA} = \frac{I \cos \theta}{r^2}$$

bila bagian permukaan diterangi oleh lebih dari satu sumber titik, maka iluminans total adalah jumlah aljabar dari iluminans yang dihasilkan oleh masing-masing sumber titik.

#### Contoh 5.1

Sebuah sumber titik cahaya diletakan 2 meter dari sebuah layar. Pada layar tersebut terdapat sebuah lubang berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm dan letak layar tegak lurus pada garis yang menghubungkan pusat lubang sumber cahaya dari sumber yang melalui lubang adalah 0,05 lumen

- Berapakah sudut ruang dibentuk oleh lubang dengan sumber?
- Berapakah intensitas sumber arah lubang?
- Jika sumber memancarkan secara merata kesemua arah, hitunglah jumlah lumen total yang dipancarkan sumber.

Penyelesaian:

- Dengan persamaan 8.70, besarnya sudut ruang adalah

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta A \cos\theta}{r^2} = \frac{\pi(10/2)^2 \text{ cm}^2}{(200)^2 \text{ cm}^2} = 0,00197 \text{steradian}$$

- Intensitas sumber dalam arah lubang:

$$I = \frac{\Delta F}{\Delta\Omega} = \frac{0.05 \text{lumen}}{0.00197 \text{steradian}} = 25.4 \text{lumen/steradian} = 25.4 \text{lilin}$$

$$\text{c. } F_{\text{total}} = 4\pi = 319 \text{lumen}$$

### Terang Cahaya (Brigness)

Terang cahaya ( $e$ ) didefinisikan sebagai intensitas cahaya yang menembus tiap satuan luas permukaan secara tegak lurus. Secara matematis dituliskan:

$$e = \frac{I}{A}$$

Dalam satuan SI terang cahaya dinyatakan dalam satuan lilin/m<sup>2</sup>. Dalam praktek, jika intensitas cahaya dinyatakan dengan satuan lilin dan luas permukaan dinyatakan dalam satuan cm<sup>2</sup>, terang cahaya dinyatakan dalam satuan *stilb*.

Jika sumber berupa titik cahaya dengan fluks tertentu, intensitas cahaya yang dihasilkan tertentu pula. Cahaya yang dipancarkan sumber tersebut menyebar kesegala arah, sehingga permukaan-permukaan yang ditembus secara tegak lurus permukaan-permukaan bola konsentris yang berpusat pada sumber titik tersebut.

Dalam hal demikian, terang cahaya disuatu titik yang berjarak  $r$  dari sumber yang dihasilkan intensitas  $I$  adalah:

$$e = \frac{I}{4\pi r^2}$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa titik, yang dekat dengan sumber mempunyai terang cahaya yang lebih besar dari pada titik yang jauh dari sumber.

#### Contoh 4.2

Sebuah lampu pijar 60 watt tergantung pada ketinggian 3 m diatas pertengahan lantai persegi panjang yang berukuran 8m x 10m. Kuat penerangan maksimum yang dihasilkan lampu pada lantai adalah 100 lux.

- a. Hitung intensitas lampu pijar tersebut
- b. Tentukan titik pada lantai yang mempunyai kuat penerangan 80 lux
- c. Hitung kuat penerangan pada titik sudut lantai
- d. Hitung terang cahaya pada pusat lantai dan pada titik sudut lantai

Penyelesaian:

a. Kuat penerangan pada lantai berharga maksimum dipusat lantai (karena paling dekat terhadap sumber). Pada titik tersebut  $r = 3\text{m}$  dan  $\theta=0$ , sehingga dengan persamaan (8.71) diperoleh:

$$I = \frac{Er^2}{\cos\theta} = \frac{100.3^2}{1} = 900\text{ilin}$$

b. Misalkan titik yang dinyatakan berjarak  $r$  dari pusat lantai, maka jarak titik tersebut ke sumber adalah:

$$r = \sqrt{3^2 + d^2} \text{ dan } \cos \theta = 3 / r$$

$$E = \frac{I \cos \theta}{r^2} = \frac{3I}{r^3}$$

$$80 = \frac{3.900}{r^3}$$

$$r^3 = 33.75m^3$$

$$r^2 = 14.433m^2$$

$$3^2 + d^2 = 10.433$$

$$d \approx 1.2m$$

Jadi titik pada lantai yang berjarak  $d \approx 1.2m$  dari pusat lantai atau titik-titik pada keliling lingkaran pusatnya berhimpit dengan pusat lantai dan berjari-jari 1.2m merupakan titik yang mempunyai kuat penerangan 80 lux.

c. Jarak titik sudut lantai ke pusat lantai  $d = \sqrt{41}m$ , sehingga  $r^2 = d^2 + 3^2 = 50$  dan

$$\cos \theta = 3 / r = 3 / \sqrt{50}$$

$$E = \frac{I \cos \theta}{r^2} = \frac{900}{50} \frac{3}{\sqrt{50}} = 7.6lux$$

d. Dengan menganggap lampu sebagai sumber titik, maka:

$$\text{Pada pusat lantai : } e = \frac{I}{4\pi r^2} = \frac{900}{4\pi \cdot 3^2} = \frac{25}{\pi} \text{ lilin/m}^2 \text{ atau } \frac{2.5}{\pi} \cdot 10^{-3} \text{ stilb}$$

$$\text{Pada sudut lantai : } e = \frac{I}{4\pi r^2} = \frac{900}{4\pi \cdot 50} = \frac{4.5}{\pi} \text{ lilin/m}^2 \text{ atau } \frac{4.5}{\pi} \text{ lilin/m}^2 \cdot 10^{-4} \text{ stilb}$$

**MODUL VI**  
**PEMBIASAN DAN PEMANTULAN PERMUKAAN BOLA**

**Tujuan Intruksional Umum :**

- Setelah membaca modul ini mahasiswa diharapkan dapat menganalisa pembiasan dan pemantulan cahaya pada permukaan bola.

**Tujuan Intruksional Khusus**

1. Menghitung jarak bayangan dan pembesaran bayangan untuk benda yang berada di depan permukaan bola dengan indeks bias medium yang didalam bola dan di luar bola berada.
2. Menghitung jarak focus dari keadaan Tlk!
3. Menentukan hubungan jarak benda, jarak bayangan dan jari-jari kelengkungan pada pemantulan cermin bola.

**Buku Rujukan :**

- |    |                 |                                 |
|----|-----------------|---------------------------------|
| 1. | Giancoli        | Physics                         |
| 2. | Kane & Sterheim | Physics 3 <sup>rd</sup> Edition |
| 3. | Sears & Zemanky | University Physics              |



**MODUL VI**  
**PEMBIASAN DAN PEMANTULAN PERMUKAAN BOLA**

**Tujuan Intruksional Umum :**

- Setelah membaca modul ini mahasiswa diharapkan dapat menganalisa pembiasan dan pemantulan cahaya pada permukaan bola.

**Tujuan Intruksional Khusus**

1. Menghitung jarak bayangan dan pembesaran bayangan untuk benda yang berada di depan permukaan bola dengan indeks bias medium yang didalam bola dan di luar bola berada.
2. Menghitung jarak focus dari keadaan Tlk!
3. Menentukan hubungan jarak benda, jarak bayangan dan jari-jari kelengkungan pada pemantulan cermin bola.

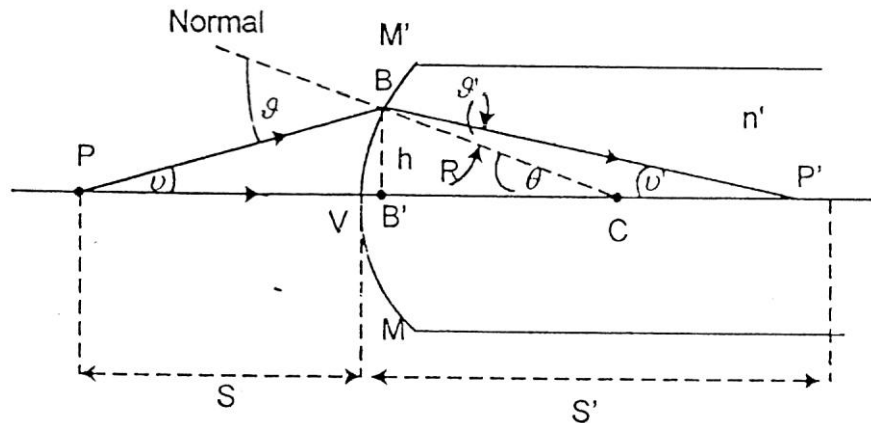
**Buku Rujukan :**

- |    |                 |                                 |
|----|-----------------|---------------------------------|
| 1. | Giancoli        | Physics                         |
| 2. | Kane & Sterheim | Physics 3 <sup>rd</sup> Edition |
| 3. | Sears & Zemanky | University Physics              |

## 6.1 Pembiasan Pada Permukaan Bola

Pada bagian ini akan diuraikan hubungan antara jarak benda ( $s$ ), jarak bayangan ( $s'$ ), indek bias medium ( $n$  dan  $n'$ ) dan jari-jari kelengkungan bola.

Perhatikan gambar (6.1) P adalah sumber cahaya titik benda pada jarak  $S$ , disebelah kiri permukaan bola  $MM'$  yang berjari-jari  $R$  dan pusatnya di  $C$ , indek bias disebelah kiri  $n$  dan disebelah kanan  $n'$  dengan harga  $n < n'$ .



Gambar 6.1 Lintasan sinar pada pembiasan permukaan bola

Sinar cahaya yang dari PVC diteruskan tanpa mengalami pembiasan titik V pada disebut vertikal dan garis CV dinamakan sumbu utama. Sinar yang datang dari P ke B dibiaskan dan perpotongan sinar yang diteruskan berada dititik P' dinamakan titik bayangan.

Terdapat beberapa ketentuan antara lain :

1. Semua jarak diukur dari titik P.
2. Arah sinar datang disebut sebelah depan permukaan dan belakang permukaan
3. Arah sinar datang dibiaskan disebut sebelah belakang permukaan.
4. Jarak  $S$  positif jika berada di depan permukaan
5. Jari-jari  $R$  positif bila pusat kelengkungan ada di belakang permukaan
6. Tinggi benda ( $Y$ ) dan tinggi bayangan ( $Y'$ ) positif bila benda/bayangan di atas sumbu utama.

Perhatikan gambar 6.1

$$\text{Dari } \triangle BCP \quad \partial = u + \theta$$

$$\text{Dari } \triangle BCP' \quad \theta = u' + \partial'$$

Dan jika jarak B'V dianggap sangat kecil (lengkungan bola mendekati datar) maka.

$$\text{tgu} = \frac{h}{s}$$

$$\text{tgu}' = \frac{h}{s'}$$

$$\text{tg}\theta = \frac{h}{r}$$

dan berlaku Hukum Snellius

$$n \sin \delta = n' \sin \delta'$$

Untuk sudut  $\delta$  dan  $\delta'$  kecil maka harga sinus mendekati harga sudutnya (dalam Satuan radian)

$$\text{tg } \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$$

sehingga  $n \varphi = n' \varphi'$

$$n(u + \theta) = n'(\theta - u')$$

$$n u + n \theta = n' \theta - n' u'$$

jika diambil pendekatan maka

$$n \text{tgu} + n \text{tg}\theta = n' \text{tg}\theta - n' \text{tgu}'$$

$$n \left( \frac{h}{s} \right) + n \left( \frac{h}{R} \right) = n' \left( \frac{h}{R} \right) - n' \left( \frac{h}{s'} \right)$$

maka akan didapat :

$$\boxed{\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{R}}$$

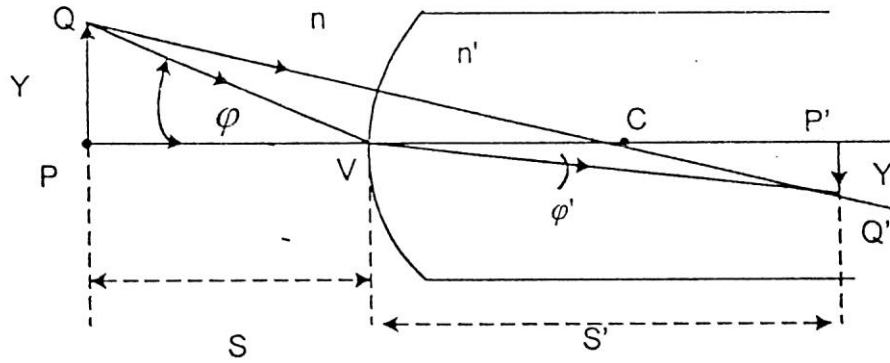
persamaan di atas berlaku untuk sinar-sinar paraksial (sinar yang berdekatan dengan sumbu utama)

### **Pembesaran Literal (Linear)**

Pembesaran lateral atau linear didefinisikan sebagai perbandingan tinggi bayangan

terhadap tinggi benda  $m = \frac{y'}{y}$  untuk lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah ini

:



Gambar 6.2

Gambar 6.2 lintasan sinar pada pembentukan bayangan semua benda karena pembiasan permukaan bola.

Perhatikan  $\Delta PQV$

$$\text{tg}\theta = \frac{y}{s}$$

dan dari  $\Delta PQ'V$   $\text{tg}\theta' = \frac{y'}{s'}$

menurut hukum snell untuk sinar paraksial

$n \sin \varphi = n' \sin \varphi'$ , dengan menggunakan pendekatan sudut kecil

$$n \text{tg} \varphi = n' \text{tg} \varphi'$$

$n \left( \frac{y}{s} \right) = n' \left( \frac{-y'}{s'} \right)$  akan diperoleh rumus :

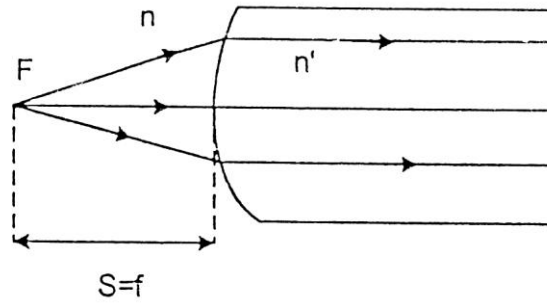
$$\boxed{m = \frac{y'}{y} = -\frac{ns'}{n's}}$$

### Fokus dan Jarak Fokus Permukaan Bola

Bila sinar datang dari suatu titik F yang berjarak f dari vertical permukaan bola, akan dibiaskan sejajar dengan sumbu utama maka F disebut titik focus pertama.

Jarak antara titik F ke permukaan bola disebut jarak (panjang) focus pertama.

Perhatikan gambar berikut ini :



Gambar 6.3 titik focus pertama

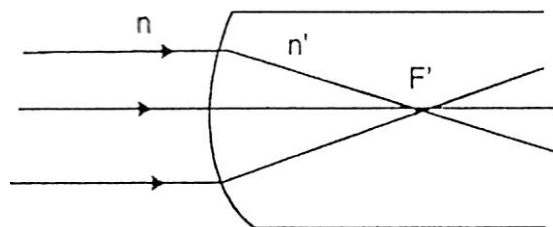
$$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$\frac{n}{f} + \frac{n'}{\infty} = \frac{n' - n}{R}$$

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n' - n}{n} \right) \frac{1}{R} \text{ atau dapat dituliskan sebagai}$$

$$f = \frac{nR}{n' - n} \text{ dengan } f = \text{jarak focus pertama}$$

Demikian pula jika sinar datang sejajar sumbu utama dan dibiaskan sehingga sinar bias berkumpul di suatu titik F' maka titik F' dinamakan focus kedua sedang jarak dari permukaan bola terhadap focus kedua dinamakan jarak focus kedua f'. lihat gambar dibawah ini :



Gambar 6.4 titik fokus utama

Dari persamaan diperoleh :

$$\frac{n}{\infty} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$\frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R} \text{ atau } f' = \frac{n'R}{n' - n}$$

### Contoh 6.1

Sebuah silinder gelas yang ujungnya menyerupai bola dengan jari-jari  $R = 20 \text{ mm}$  indeks bias  $n' = 1,5$  jika benda bercahaya berada di depan permukaan  $80 \text{ mm}$ .

- Tentukan jarak bayangannya
- Jika tinggi benda  $5 \text{ mm}$  tentukan pembesaran dan tinggi bayangan

Jawab

$$\text{a. } \frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{R}$$
$$\frac{1}{80 \text{ mm}} + \frac{1,5}{s'} = \frac{1,5 - 1}{20 \text{ mm}}$$

$$\frac{1,5}{s'} = \frac{0,5}{20 \text{ mm}} = \frac{1}{80 \text{ mm}}$$

$$\frac{1,5}{s'} = \frac{2}{80} - \frac{1}{80} = \frac{1}{80}$$

$$s' = 1,5 \cdot 80 = 120 \text{ mm}$$

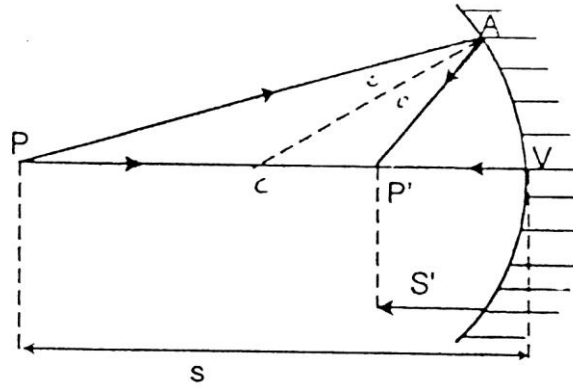
$$\text{b. } m = -\frac{ns'}{n's} = -\frac{1 \cdot 120}{1,5 \cdot 80} = -1$$

$$m = \frac{y'}{y} = -1 \text{ sehingga } y' = -y = -5 \text{ mm (bayangan terbalik)}$$

### Pemantulan Pada Permukaan Bola (Cermin Bola)

Cermin dengan permukaan berbentuk bola dapat berupa cermin cekung atau cermin cembung. Cermin cekung jika bagian yang memantulkan sinarnya adalah bagian dalam bola, sebaliknya adalah cermin cembung.

Cermin cekung dapat digambarkan sebagai berikut :



Jika jarak PV adalah jarak benda = S

Jika jarak CV adalah jari-jari = R

Jika P'V adalah bayangan = S'

Dengan menerapkan hukum pembiasan pada permukaan bola dan menerapkan definisi/ketentuan tanda.

$$n' = -n$$

$$R = -R$$

$$s' = -s'$$

$$\frac{n}{s} + \left( \frac{-n}{-s'} \right) = \frac{-n - n}{-R}$$

$$\frac{n}{s} - \frac{n}{(-s')} = \frac{\sum n}{R} \text{ sehingga dapat dirumuskan sebagai persamaan}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

Jika s berjarak tak terhingga yaitu  $s' = f$ , maka

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Sehingga  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$

Penjelasan tanda positif dan negatif

1. Kenapa  $n' = -n$ ?

Kita menganggap sinar yang dipantulkan analog dengan pembiasan dengan  $V' = -V$

$$v' = \frac{c}{n}$$

$$v = \frac{c}{n}$$

$$v' = -v$$

$$\frac{n'}{c} = -\frac{c}{n} \rightarrow n' = -n$$

2. Sesuai dengan ketentuan pada pembiasan permukaan bola  $s$  positif dan  $s'$  negatif,  $R$  negatif untuk menggambarkan bayangan yang secara grafis digunakan 3 sinar utama :

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama dipantulkan melalui focus cermin
- 2) Sinar datang melalui focus cermin dipantulkan sejajar sumbu utama
- 3) Sinar datang melalui pusat lengkung dipantulkan kembali sama dengan sinar datang.

### **Perbesaran Lateral (Linear) Cermin Bola**

Perbesaran lateral (linear) cermin didefinisikan :

$$m = \frac{y'}{y}$$

Dengan menggunakan rumus perbesaran pada pembiasan bola maka perbesaran lateral untuk pemantulak oleh cermin bola dapat diturunkan dengan mengganti  $n' = -n$  sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :



$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{ns'}{n's} = -\frac{n}{(-n)} \cdot \frac{s'}{s} = \frac{s'}{s} \text{ jadi dapat diringkas menjadi :}$$

$$m = \frac{s'}{s}$$

Untuk mendapatkan persamaan yang berkaitan dengan jarak benda, jarak bayangan dan jari-jari pada cermin cembung dapat digunakan persamaan pembiasan pada permukaan bola dengan ketentuan yang berlaku sebagai berikut :

$$n' = -n$$

$s'$  bertanda negatif yang lainnya yakni  $S$  dan  $R$  bertanda positif sehingga :

$$\frac{s}{n'} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$\frac{n}{s} + \frac{(-n)}{-s'} = \frac{-n - n}{R}$$

Akan diperoleh persamaan akhir menjadi :

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = -\frac{2}{R} \text{ atau } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = -\frac{1}{f}$$

### Contoh 6.2

Sebuah benda tingginya 5 cm di depan cermin cekung yang berjari-jari 40 cm.

Jika jarak benda 200 cm tentukan :

- a. Letak bayangan benda
- b. Perbesaran dan tinggi bayangan

Jawab :

$$\text{a } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{200} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{40}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{2}{40} - \frac{1}{200} = \frac{10}{200} - \frac{1}{200} = \frac{9}{200}$$

Jadi  $s' = 9/200$  cm

$$b \quad m = -\frac{s'}{s} = -\frac{200/9}{200} = -\frac{1}{9} \text{ kali atau perbesaran } 1/9 \text{ dan arahnya terbalik}$$

$$\text{sehingga } y' = m y = 1/9 \cdot 5 = 5/9 \text{ cm}$$

### Contoh 6.3

Sebuah benda tingginya 3 cm diletakkan 20 cm dari cermin cembung dengan panjang focus 10 cm. Tentukan posisi dan panjangnya bayangan benda tersebut :

Jawab :

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = -\frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{20} + \frac{1}{s'} = -\frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{10} - \frac{1}{20} = -\frac{2}{20} - \frac{1}{20} = -\frac{3}{20}$$

$$s' = -\frac{20}{3} \text{ cm}$$

$s'$  negatif berarti terletak di belakang cermin atau maya. Perbesaran linier

$$m = -\frac{s'}{s} = -\frac{-20/3}{20} = \frac{1}{3} x$$

$$\text{sehingga } y' = m y = 1/3 \cdot 3 = 1 \text{ cm}$$

$y'$  berarti positif berarti bayangan tidak terbalik.

**MODUL VII**  
**FISIKA OPTIK**  
**PEMBIASAN OLEH PLAN PARALEL DAN PRISMA**

**Tujuan Instruksional Umum :**

- ◆ Setelah membaca modul ini diharapkan mahasiswa apat menganalisa pembiasan oleh medium plan paralel.

**Tujuan Instruksional Khusus :**

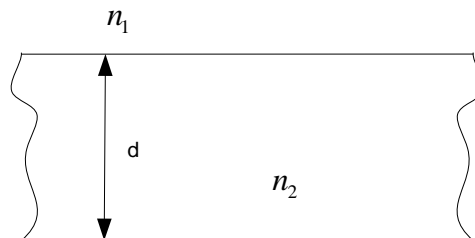
- \* Menganalisa pergeseran akibat pembiasan plan paralel
- \* Menganalisa pembiasan akibat prisma
- \* Dispersi cahaya polikromatik oleh prisma

**Buku rujukan :**

- |                    |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| 1. Giancoli        | Physics                         |
| 2. Kane & Sterheim | Physics 3 <sup>rd</sup> Edition |
| 3. Sears & Zemanky | University Physics              |

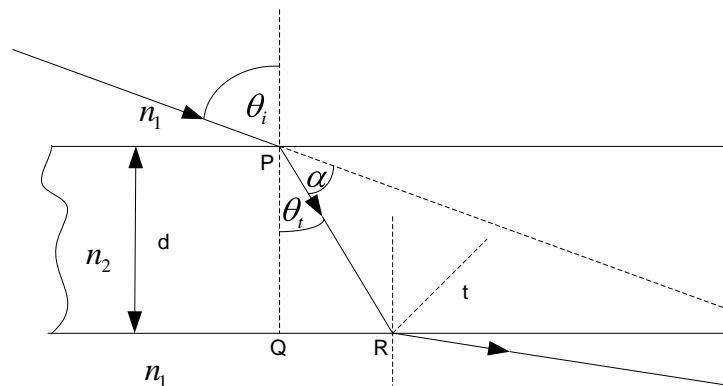
## 7.1 Spektrum gelombang elektromagnet

Gelombang elektromagnet terjadi akibat medan magnet atau medan listrik yang berubah terhadap waktu gelombang elektromagnet yang dipancarkan oleh sumber akan merambat ke segala arah oleh karenanya akan membentuk muka gelombang berbentuk tertutup



Gambar 7.1

Penjalaran sinar cahaya setelah melewati medium ini dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 7.2

KEtebalan medium adalah  $P.Q = d$  meter sedang pergeseran sinar cahaya  $t$  meter terlihat dari gambar bahwa

$$\sin \alpha = \frac{t}{PR}$$

$$t = P.R.\sin \alpha \tag{1}$$

$$\text{Dimana } \alpha = (\theta_i - \theta_t) \tag{2}$$

$$\text{Dan } P.R = \frac{P.Q}{\cos \theta_t} = \frac{d}{\cos \theta_t} \tag{3}$$

Dari ketiga persamaan diatas dapat disimpulkan sebagai

$$t = \frac{d}{\cos\theta_t} \sin(\theta_i - \theta_t)$$

Dengan mengetahui indeks bias medium  $n_1 n_2$ , ketebalan dan sudut dengan sinar cahaya maka pergeseran dapat dihitung.

Contoh :

Berkas cahaya didatangkan dari udara ke permukaan kaca yang tebalnya 10 mm dengan sudut datang  $30^\circ$ . Jika indeks bias kaca 1,5 berapa pergeseran setelah melalui garis ?

Penyelesaiannya :

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

$$\sin\theta_i = 1,5 \sin\theta_t$$

$$\sin 30^\circ = 1,5 \sin\theta_t$$

$$\sin\theta_t = \frac{0,5}{1,5} = 0,33333$$

$$\theta_t = n_2 \sin(0,3333) = 19,469^\circ \approx 19,47^\circ$$

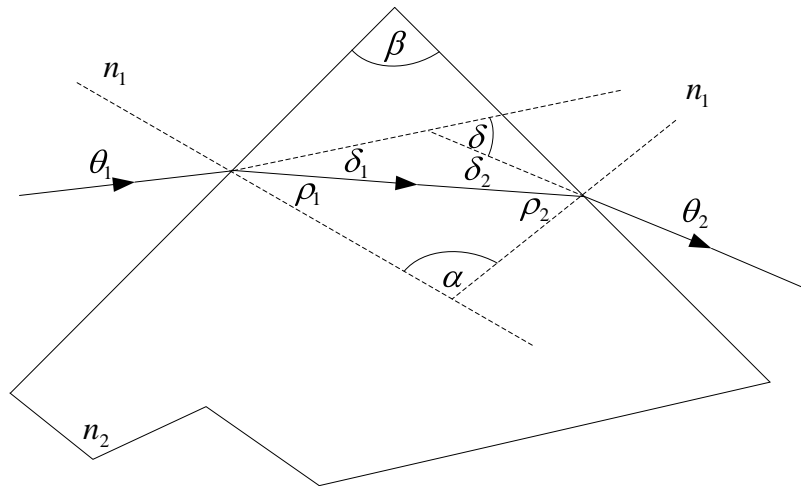
$$t = \frac{d}{\cos\theta_t} \sin(\theta_i - \theta_t)$$

$$= \frac{10}{\cos 19,47^\circ} \sin(30^\circ - 19,47^\circ)$$

$$= \frac{10}{0,94} \sin(10,53^\circ) = 10,64 \cdot 0,18 = 1,9 \text{ mm}$$

## **7.2 Pembiasan Oleh Prisma**

Sebuah prisma segi empat jika diiris akan membentuk sebuah segitiga, dan jika cahaya didatangkan ke prisma antara sinar yang datang dan sinar yang meninggalkan prisma mengalami penyimpangan (deviasi). Perhatikan gambar berikut :



Gambar 7.3

Indeks bias prisma  $n_2$ , dan indeks bias diluar prisma  $n_1$ . sudut datang  $\theta_1$ , sudut penyimpangan  $\delta$  yakni sudut yang dibentuk antara sinar datang yang datang ke prisma dan sudut yang meninggalkan prisma. Sudut pembias prisma / sudut aspeknya  $= \beta$ . Sudut penyimpangan pertama  $\delta_1$  & sudut penyimpangan kedua  $\delta_2$ , maka dengan memperhatikan gambar diperoleh persamaan :

$$\boxed{\delta = \delta_1 + \delta_2} \quad (1)$$

dan  $\delta_1 = \theta_1 - \rho_1$  ;  $\delta_2 = \theta_2 - \rho_2$

maka  $\delta = (\theta_1 - \rho_1) + (\theta_2 - \rho_2)$

$$\boxed{\delta = (\theta_1 + \theta_2) - (\rho_1 + \rho_2)} \quad (2)$$

dari gambar didapat pula terlihat bahwa :

$$\beta + \alpha = 180^\circ$$

$$\rho_1 + \rho_2 + \alpha = 180^\circ$$

maka diperoleh  $\boxed{\beta = \rho_1 + \rho_2}$  (3)

Dari persamaan (2) dan (3)

$$\boxed{\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \beta}$$

### 7.3 Deviasi Minimum

Dari teori variabel bebas adalah  $\theta$ . Jika  $\theta$  bertambah besar maka  $\delta$  mula – mula mengecil lalu mencapai minimum, dan setelah itu bertambah besar. Maka untuk menentukan  $\delta$  minimum dicari dengan persamaan matematik :

$$\frac{d\delta}{d\theta_1} = 0$$

Tetapi karena  $\theta$  adalah fungsi dari  $\delta_1$  untuk  $n_1=1$  dan  $n_2=n$  pembiasan pertama

$$\begin{aligned}\sin\theta_1 &= n \sin\rho_1 \\ \theta &= \arcsin(n\rho_1)\end{aligned}$$

pembiasan kedua

$$\begin{aligned}\sin\theta_2 &= n \sin\rho_2 \\ \theta_2 &= \arcsin(n \sin\rho_2)\end{aligned}$$

tetapi karena  $\rho_2 = \beta + \rho_1$

maka diperoleh persamaan

$$\begin{aligned}\theta_2 &= \arcsin(n \sin(\beta - \rho_1)) \text{ oleh karena itu} \\ \delta &= \arcsin(n \sin\rho_1) + \arcsin(n \sin(\beta - \rho_1)) - \beta\end{aligned}$$

Karena maka

$$\frac{d\delta}{d\rho_1} = 0$$

$$\text{dan } 0 = \frac{n \cos\rho_1}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2\rho_1}} - \frac{n \cos(\beta - \rho_1)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\beta - \rho_1)}}$$

yang berarti  $\beta - \rho_1 = \rho_1$

$$\beta = 2\rho_1$$

$$\rho_1 = \frac{\beta}{2} \quad \text{deviasi minimum}$$

karena  $\rho_1 + \rho_2 = \beta$  lihat persamaan (3)

$$\text{maka } \frac{\beta}{2} + \rho_2 = \beta$$

$$\rho = \frac{\beta}{2}$$

sehingga  $\rho_1 = \rho_2 = \frac{\beta}{2}$  deviasi minimum

juga  $\delta_1 = \delta_2$  dan  $\theta_1 = \theta_2$  dalam keadaan ini  $\delta$  disebut  $\delta$  minimum ( $\delta_m$ ) dari

$$\theta_1 = \frac{\beta + \delta_m}{2} \quad \text{dan} \quad \rho_1 = \frac{\beta}{2}$$

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \rho_1} = \frac{\sin \frac{1}{2}(\beta + \delta_m)}{\sin \frac{1}{2}\beta} \approx \frac{\beta + \delta_m}{\beta}$$

atau

$$\delta_m = (n - 1)\beta$$

untuk medium luar  $n_1$  dan medium prisma  $n_2$  akan didapat

$$\delta_m = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \beta$$

#### **7.4 Dispersi**

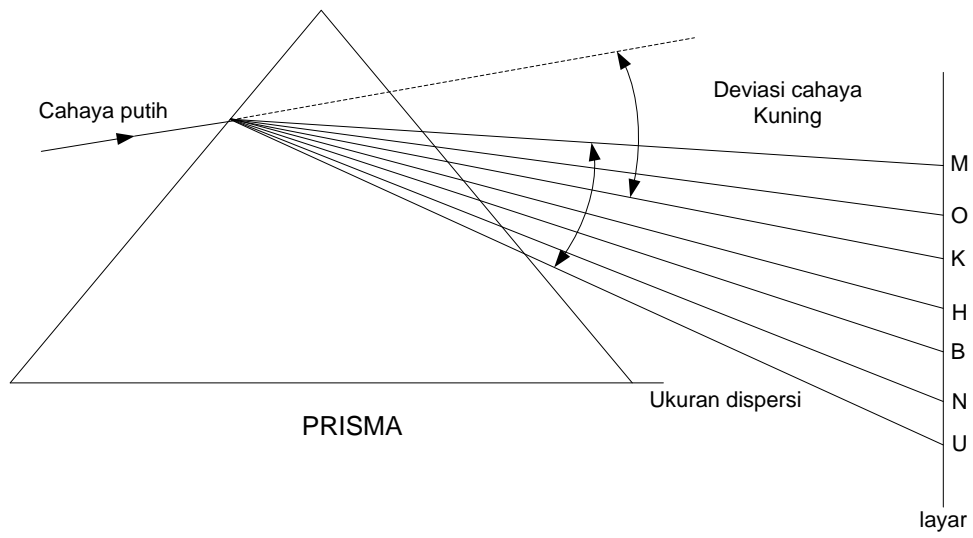
Cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang kasat mata (dapat ditangkap mata) mempunyai panjang gelombang 400 nm hingga 700 nm, cepat rambat cahaya di ruang hampa adalah sama untuk semua “frekuensi atau panjang gelombang” tetapi pada medium lain cepat rambat dipengaruhi oleh “frekuensi atau panjang gelombang”. Dengan demikian indeks bias suatu zat (medium) tergantung pada panjang gelombang cahaya yang bersangkutan. Jika cahaya datang mempunyai panjang gelombang yang berbeda-beda (berbagai panjang gelombang) maka setiap panjang gelombang akan dibiaskan melalui sudut yang berbeda-beda, gejala ini disebut **dispersi**.

Indeks bias suatu cahaya pada suatu zat (medium) akan semakin besar jika frekuensinya semakin besar atau panjang gelombangnya semakin pendek.

Cahaya warna merah mempunyai indeks bias terkecil sedangkan warna ungu mempunyai indeks bias terbesar dan warna kuning kira kira ditengah-tengah antara merah dan ungu maka sudut deviasi cahaya polikromatik dipilih deviasi untuk cahaya kuning.

Ukuran dispersi adalah sudut yang dibuat oleh sinar merah dan ungu (violet) untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.





Gambar 7.4 dispersi cahaya oleh prisma

**MODUL VIII**  
**FISIKA OPTIK**  
**LENSA**

**Tujuan interaksional umum :**

Setelah membaca pokok bahasan ,ini diterapkan dapat menganalisa pembiasan oleh permukaan ganda.

**Tujuan instruksional khusus :**

1. Dapat menghitung ,biasan pada dua ,bidang lengkung yang dipisahkan oleh jarak tertentu ( lensa tebal )
2. Dapat menghitung biasan pada lensa tipis.
3. Mengenal jenis – jenis lensa
4. pembentukan bayangan oleh lensa

**Buku rujukan :**

- |                    |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| 1. Gancoli         | Physics                         |
| 2. kane & sterheim | Physics 3 <sup>rd</sup> Edition |
| 3. sears & Zemanky | University Physics              |

### 8.1. Biasan pada dua bidang lengkung

Setelah membahas biasan pada permukaan lengkung pada modul sebelumnya persamaan pada permukaan lengkung dapat digunakan untuk pasangan dua bidang lengkung. Dapat ditunjukkan pada gambar dbawah ini.

Bidang lengkung oleh jarak  $d$  meter dan kelengkungan pertama mempunyai jari-jari  $R_1$  kelengkungan kedua mempunyai jari-jari  $R_2$  indeks bias didalam pasangan bidang lengkung adalah  $n_2$  sedang indeks bias diluar adalah  $n_1$  maka berlaku persamaan berikut :

Untuk permukaan lengkung pertama :

$$\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_2 n_1}{R_1} \dots\dots\dots 8.1$$

Dan untuk permukaan lengkung kedua benda adalah hasil bayangan permukaan lengkung pertama yang disebut benda maya, berlaku persamaan

$$\frac{n_2}{s_1} + \frac{n_1}{s_2} = \frac{n_1 - n_2}{R_2} \dots\dots\dots 8.2$$

$R_2$  Negatif ( ,karena berlawanan dengan kelengkungan pertama )

$S_2$  Negatif ( Benda maya )

Dari gambar terlihat

$$S_2 = S_1 - d$$

Karena maya maka

$$S_2 = - ( S_1 - d )$$

Untuk lebih jelas dapat dilihat dari contoh sbb:

Sebuah titik cahaya terlihat pada jarak 100 cm didepan sebuah bola gelas yang berjari-jari 40 cm dan indeks bias 1,5. jika bola terletak diudara tentu, kan titik cahaya tersebut.

Penyelesaian :

Dapat ,determined bahwa  $R_1=R_2=40$  cm

( Bentuknya bola ) dan  $d = 2R = 80$  cm

$$n_1 = n_{\text{udara}} = 1$$

$$n_2 = n_q = 1,5$$

$$S = 100 \text{ cm}$$

$$\frac{n_1}{s_1} + \frac{n_2}{s_1^i} = \frac{n_2 - n_1}{R_1}$$

$$\frac{1}{100} + \frac{1,5}{s_1^i} = \frac{1,5 - 1}{40}$$

$$\frac{1,5}{s_1^i} = \frac{0,5}{40} - \frac{1}{100}$$

$$\frac{1,5}{s_1^i} = \frac{1,25}{100} - \frac{1}{100}$$

$$\frac{1,5}{s_1^i} = \frac{0,25}{100}$$

$$s_1^i = \frac{150}{0,25} = 600 \text{ cm}$$

$$s_2 = -(s_1^i - d)$$

$$s_2 = -(600 - 80)$$

$$= -520$$

$$R_2 = -40 \text{ cm}$$

$$\frac{n_2}{s_2} + \frac{n_1}{s_2^i} = \frac{n_1 - n_2}{R_2}$$

$$\frac{1,5}{-520} + \frac{1}{s_2^i} = \frac{1 - 1,5}{-40}$$

$$\frac{1,5}{-520} + \frac{1}{s_2^i} = \frac{1 - 1,5}{-40}$$

$$\frac{1,5}{-520} + \frac{1}{s_2^i} = \frac{0,5}{40}$$

$$\frac{1}{s_2^i} = \frac{0,5}{40} + \frac{1,5}{520}$$

$$= \frac{6,5 + 1,5}{520} = \frac{8}{520}$$

$$s_2^i = \frac{520}{8} = 65 \text{ cm}$$

## 8.2 Lensa Tipis

Dari persamaan biasan pada dua bidang lengkung dapat digunakan untuk menemukan lensa tipis dengan ketentuan dapat digunakan untuk menentukan lensa

tipis dengan ketentuan bahwa  $d \approx 0$  atau jarak antara dua lengkung pembias sangat dekat. Dari persamaan

Dan  $d \approx 0$

$$S_2 = -S_1$$

Pada lengkung 1 
$$\boxed{\frac{n_1}{S_1} + \frac{n_2}{S_1^i} = \frac{n_2 - n_1}{R_1}} \dots\dots\dots 8.3$$

Pada lengkung 2 
$$\frac{n_2}{S_2} + \frac{n_1}{S_2^i} = \frac{n_1 - n_2}{R_2}$$

Atau

$$\boxed{\frac{n_2}{S_1^i} + \frac{n_1}{S_2^i} = \frac{n_1 - n_2}{R_1}} \dots\dots\dots 8.4$$

Jika persamaan 8.3 dan 8.4 dijumlahkan

$$\frac{n_1}{S_1} + \frac{n_2}{S_1^i} = \frac{n_2 - n_1}{R_1}$$

$$-\frac{n_2}{S_1^i} + \frac{n_1}{S_2^i} = \frac{n_1 - n_2}{R_1}$$

---


$$\frac{n_1}{S_1} + \frac{n_2}{S_2^i} = \frac{n_2 - n_1}{R_2} - \frac{n_2 - n_1}{R_1}$$

$$\boxed{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2^i} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1}\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \dots\dots\dots 8.5$$

karena  $d \approx 0$

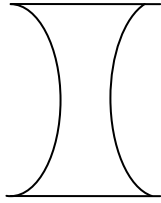
$$S_1 = S$$

$$S_2 = S^1$$

Dan untuk  $R_2$  diberi notasi negative karena berlawanan dengan  $R_1$  sehingga persamaan akhir sbagai berikut sbb:

$$\boxed{\frac{1}{S} + \frac{1}{S_2^i} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \dots\dots\dots 8.6$$

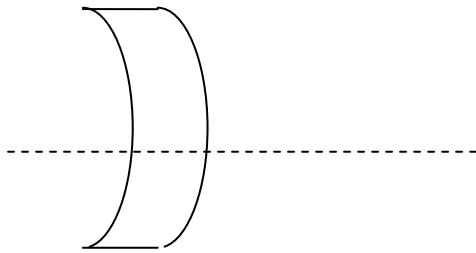
Penggunaan persamaan 8.6 untuk permukaan cekung sbb:



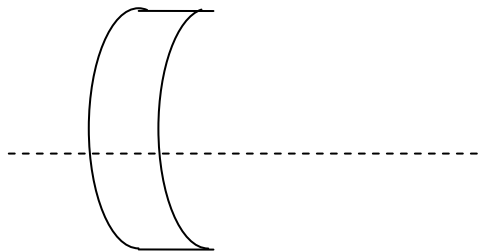
gambar 8.2.Lensa double cekung

$R_1$  dan  $R_2$  ,diberi notasi negative

Untuk permukaan



Gambar 8.3 Lensa Cekung Cembung



Gambar 8.4 Lensa Cembung Cekung

*Contoh :*

Sebuah benda terletak pada jarak 120 ,cm ,didepan lensa tipis y,ang berjari jarilengkung 60 cm dan 40 cm keduanya cembung,lensa terse,but diletakkan ,diudara ,sedang indeks bias 1,5

*Penyelesaian :*

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2^i} = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_1} \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{120} + \frac{1}{S^i} = (1,5-1) \left( \frac{1}{60} - \frac{1}{40} \right)$$

$$\frac{1}{S_2^i} = 0,5 \left( \frac{2}{120} + \frac{3}{120} \right) - \frac{1}{120}$$

$$= \frac{2,5}{120} - \frac{1}{120} = \frac{1,5}{120}$$

$$S_2^i = \frac{120}{1,5} = 80 \text{ cm}$$

### Jarak focus lensa tipis

Jarak focus lensa tipis didefinisikan sebagai :

Objek titik pada ,sumbu utama beda terletak pada jarak tak hingga dan bayangan dititik focus

$$S = f \text{ dan } S^i = \infty$$

Untuk definisi a disebut focus kedua

Untuk definisi b disebut focus pertama

Dari persamaan 8.6 :

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S^i} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$0 + \frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\boxed{\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$$

focus lensa kedua

Focus pertama

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{\infty} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Dari uraian diatas mak persamaan 8.6 ,dapat ,ditulis menjadi :

$$\boxed{\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}} \dots\dots\dots 8.7$$

### 8.4 Lensa positif dan lensa negative

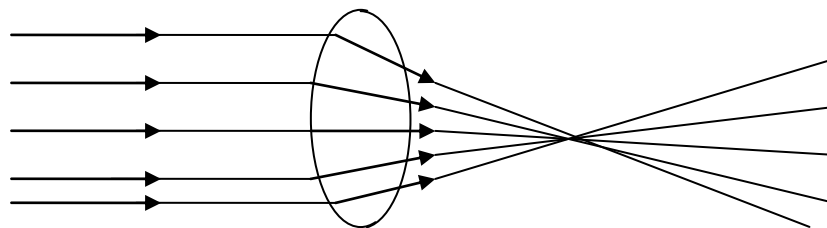
Untuk medium lensa ,lebih besar dari medium luar (  $n_2 > n_1$  )

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

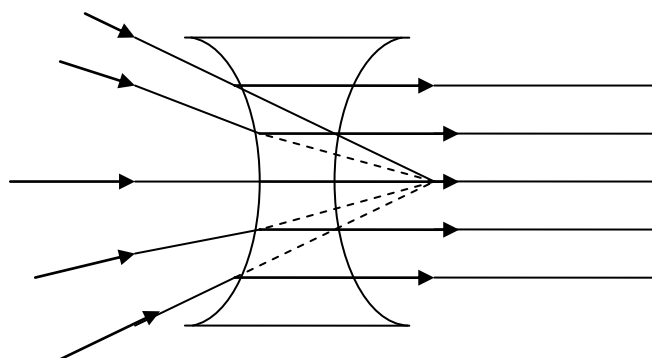
Selalu berharga positif dengan demikian panjang focus negative dan positif tergantung pada bentuk kedua permukaan ,lensa cembung atau cekung ditinjau dari sinar datang.

Suatu lensa yang panjang focus positif disebut lensa positif dan bersifat mengumpulkan sinar datang

Sedangkan lensa yang panjang ,fokusnya negative dan bersifat memancarkan ( menyebarkan ) ,sinar datang dapat ,dilihat gambar dibawah ini



Gambar 8.5a Lensa Positif



Gambar 8.5b Lensa Negatif



**MODUL IX**  
**FISIKA OPTIK**  
**PEMBENTUKAN BAYANGAN LENS & SUSUNAN**  
**LENSA**

***Tujuan instruksional umum:***

Setelah mempelajari pokok bahasan ini diharapkan dapat memahami pembentukan bayangan oleh suatu lensa dan susunan lensa.

***Tujuan instruksional khusus:***

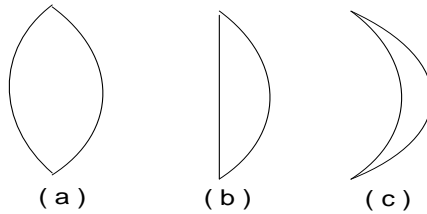
1. dapat menjelaskan sifat-sifat sinar istimewa
2. dapat menerapkan sifat-sifat sinar istimewa untuk membentuk bayangan
3. dapat menghitung kuat arus
4. dapat menghitung pembesaran bayangan
5. dapat menghitung pembesaran bayangan akibat susunan lensa

## 9.1 Jenis Lensa

Walaupun permukaan lensa dapat membentuk bola, parabola atau selinder dalam pembahasan ini dibatasi pada lensa tipis dengan permukaannya merupakan permukaan bola.

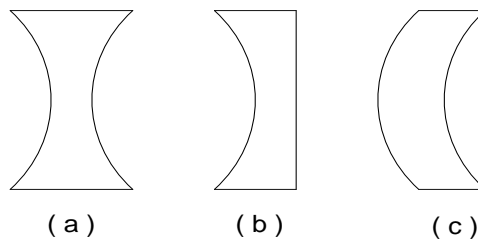
Secara umum ada dua lensa:

1. Lensa cembung (lensa positif/lensa konvergen) yaitu lensa yang bersifat mengumpulkan sinar, cirri lensa ini adalah tebal ditengah.



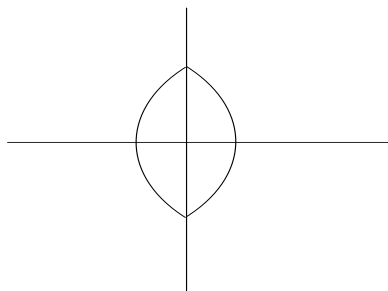
- a. lensa cembung rangkap
- b. lensa cembung datar
- c. lensa cembung cekung

2. Lensa cekung atau lensa negative/lensa divergen yaitu lensa yang bersifat menyebarkan sinar, cirri lensa ini adalah tebal diujung-ujungnya.



- a. lensa cekung ganda
- b. lensa cekung datar
- c. lensa cembung cekung

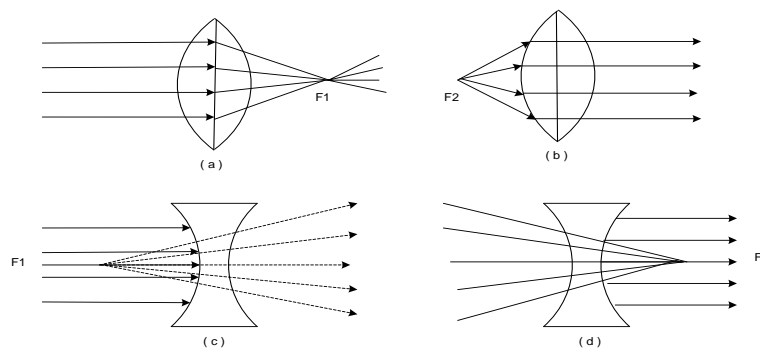
Bagian-bagian lensa



**Gambar 9.3**

1. Aperature: diameter lensa
2. Pusat optic: titik pada lensa dimana suatu sinar yang melewatinya tidak akan dibiaskan
3. Sumbu lensa: sumbu yang memisahkan dua bagian lensa dan melewati pusat optic.
4. sumbu utama: garis lurus yang melewati pusat optic dan tegak lurus dengan sumbu utama.
5. Focus utama: titik dimana sinar sejajar sumbu utama akan dikumpulkan atau titik dimana seolah-olah sinar mulai disebarkan.

Letak focus dapat digambarkan sebagai berikut:

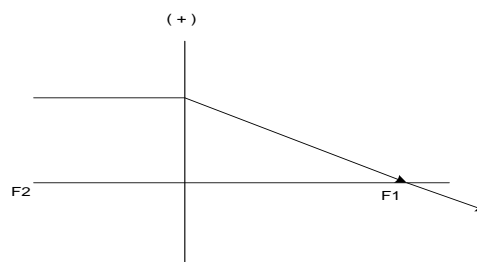


**Gambar 9.4**

## 9.2 Pembentukan bayangan oleh lensa

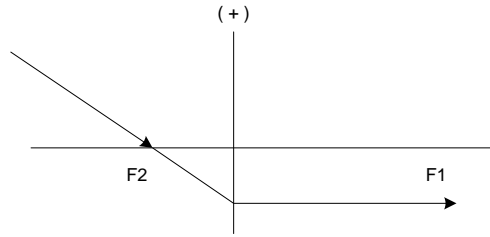
Untuk menggambarkan bayangan oleh lensa diperlukan sinar-sinar istimewa untuk memudahkan penggambaran suatu lensa positif digambarkan sebagai garis lurus dengan tulis plus di atasnya. Sedang untuk lensa negative diberi tanda minus.

Ada tiga sinar istimewa:



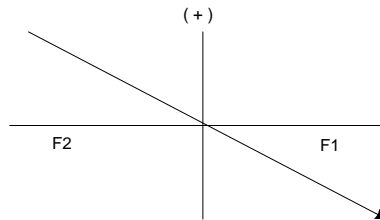
**Gambar 9.5a**

Keterangan : sinar sejajar sumbu utama akan diteruskan melalui focus.



**Gambar 9.5b**

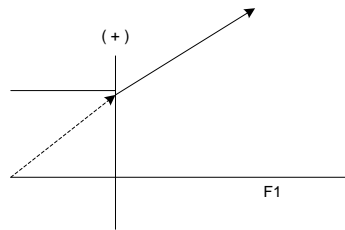
Keterangan : sinar yang menunjukan focus diteruskan sejajar sumbu utama.



**Gambar 9.5c**

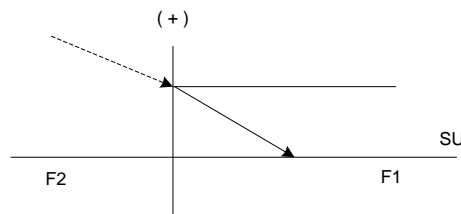
Keterangan : sinar optic tidaka akan dibiaskan.

Sedang sinar-sinar istimewa untuk lensa negative adalah sebagai berikut:



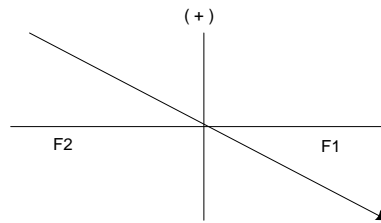
**Gambar 9.5c**

Keterangan gambar 9.5 d: sinar sejajar sumbu utama dibiaskan seolah-olah datang dari focus.



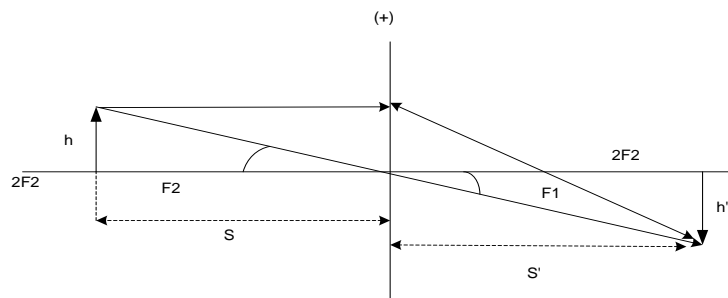
**Gambar 9.5e**

Ket gambar 9.5 e: sinar yang menunjukan focus dibiaskan sejajar sumbu utama.



**Gambar 9.5f**

Keterangan gambar 9.5 f: sinar datang melalui pusat optik tidak akan dibiaskan. Dari sifat-sifat sinar istimewa yang telah dijelaskan maka dapat dibuat bayangan dari benda didepan lensa. Dapat dilihat contoh sbb :



**Gambar 9.6**

Persamaan yang berlaku untuk ini seperti yang telah diuraikan pada pembahasan sebelumnya yakni :

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

Dan terlihat pada gambar bahwa

$$\alpha = \beta$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{h}{s}$$

$$\text{tg}\beta = \frac{h'}{s'}$$

Sehingga:

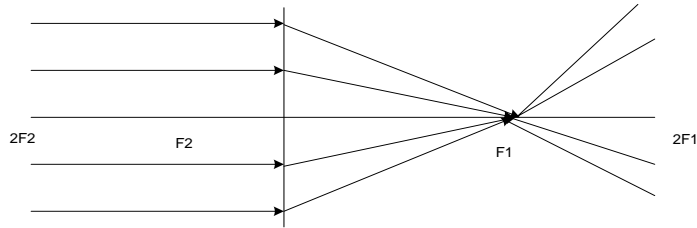
$$\frac{h}{s} = \frac{h'}{s'} \text{ atau } \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$

Dengan perkataan lain pembesaran bayangan

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$

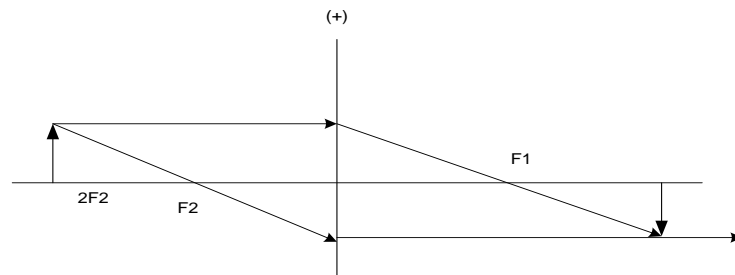
Bayangan yang dibentuk oleh lensa cembung tidak semuanya seperti pada gambar 9.6 tergantung dari pada lokasi dimana itu berada ada 6 tempat dimana benda dapat diletakan yakni sbb:

1. Benda dititik yang jauh sekali (tak berhingga) bayangan benda ini berupa titik focus utama.



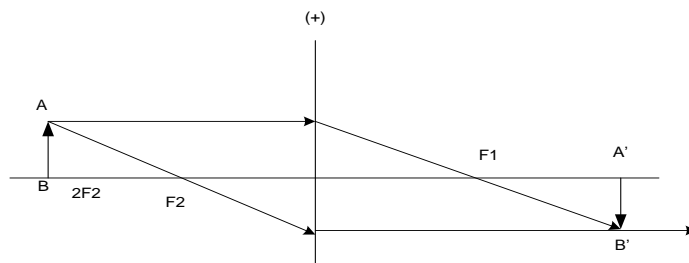
**Gambar 9.7**

2. Benda terletak antara (sebelah kiri) dan  $2F_2$  posisi bayangan digambarkan pada 9.8 sifat bayangan sejati terbalik dan diperkecil.



**Gambar 9.8**

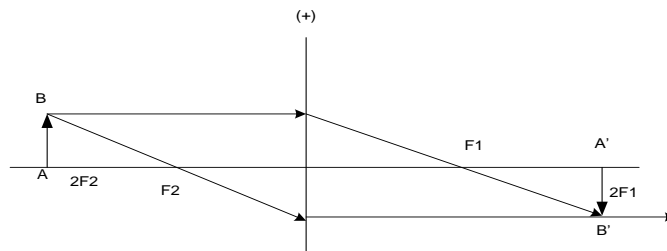
3. benda terletak di  $2F_2$  posisi digambarkan pada gambar 9.10 sifat bayangan sejati, terbalik, dan sama besar.



**Gambar 9.9**

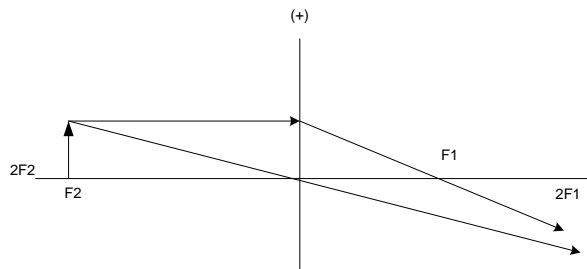
4. Benda terletak antara  $F_2$  dan  $2F_2$  posisi bayangan digambarkan pada gambar 9.11 sifat bayangan : sejati, terbalik dan diperbesar

Catatan : semakin dekat dengan benda dengan focus semakin jauh terletak bayangannya.



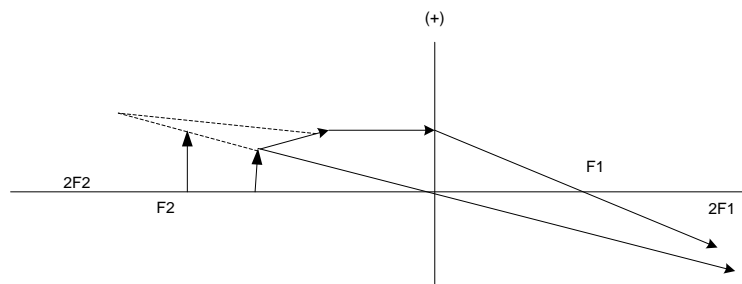
**Gambar 9.10**

5. Benda terletak di  $F_2$  tidak ada bayangan terbentuk karena setelah pembiasan semua sinar sejajar.



**Gambar 9.11**

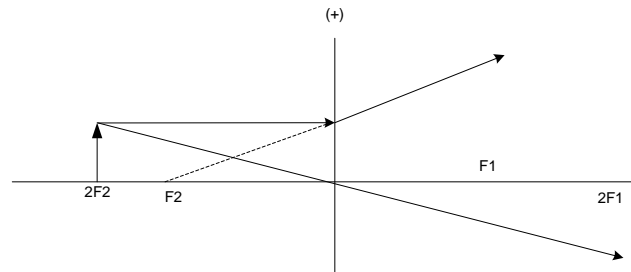
6. Benda terletak antara sumbu optik dan  $F_2$  disini sinar-sinar menyebar setelah melewati lensa. Sinar-sinar ini tidak dapat menghasilkan bayangan nyata karena mereka tidak berpotongan. Sinar-sinar ini tampak mengumpul dititik yang terletak pada sisi yang sama dengan sisi beda, sehingga terbentuk bayangan maya (bayangan ini tidak dapat ditangkap oleh layar). Posisi bayangan digambarkan pada gambar 9.12. bayangan bersifat maya, tegak dan diperbesar.



**Gambar 9.12**

### Pembentukan bayangan lensa negative

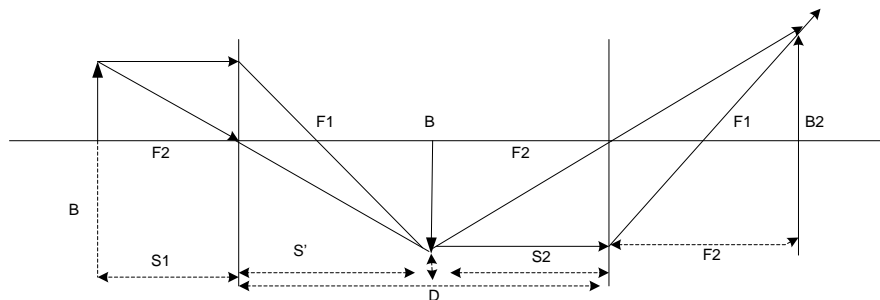
Lensa negative atau lensa cekung tidak mampu menghasilkan bayangan sejati karena setelah melewati lensa semua sinar tersebar (sinar-sinar tidak berpotongan). Untuk semua posisi benda, lensa negative akan menghasilkan bayangan maya, tegak dan diperkecil.



**Gambar 9.13**

### Susunan dua lensa dengan sumbu utama berimpit

Orang jarang sekali menggunakan tunggal. Biasanya orang menggabungkan dua lensa tunggal sebagai alat optik.



**Gambar 9.14**

Anggap dua lensa positif berada pada jarak disatu sama lain. Sebuah benda diletakan pada jarak S1 dari lensa pertama. Lensa pertama akan membentuk bayangan ini pada jarak S'1 dari lensa ini. Bayangan ini merupakan benda bagi lensa kedua. Lensa kedua akan membentuk bayangan akhir. Pada oembentukan bayangan akhir oleh lensa 2, jarak benda menurut lensa 2 adalah S2 yang dapat dihitung dengan rumus jarak dua lensa:

$$d = s'1 + s2 \text{ (jarak dua lensa)}$$

$$d = \text{jarak dua lensa}$$

$$s2 = \text{jarak menurut lensa 2}$$

$$s'1 = \text{jarak bayangan menurut lensa 1}$$



Bayangan akhir yang dibentuk lensa akan terletak pada jarak  $s_2$  dari lensa kedua. Perbesaran bayangan pada susunan dua lensa merupakan perkalian antara perbesaran masing-masing lensa.

$$M_{total} = M_1 \times M_2$$

$$M_1 = \text{perbesaran lensa 1}$$

$$M_2 = \text{perbesaran lensa 2}$$

$$M_{tot} = \text{Perbesaran lensa gabungan}$$

**Contoh :**

Anggap suatu system terdiri dari dua lensa positif yang panjang fokusnya masing-masing 25cm dan 20cm. Jarak kedua lensa 100cm. Sebuah benda diletakan pada jarak 50cm dari lensa pertama hitunglah perbesaran system.

Penyesalan :

$$\text{Diketahui } f_1 = 25\text{cm}$$

$$f_2 = 20\text{cm}$$

$$d = 100\text{cm}$$

$$s_1 = 50\text{cm}$$

ditanya  $M_{tot}$ ?

Pembiasan lensa 1:

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_1} &= \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} \\ \frac{1}{25} &= \frac{1}{50} + \frac{1}{s'_1} \\ &= \frac{1}{25} - \frac{1}{50} = \frac{1}{50} \\ &= 50\text{cm} \end{aligned}$$

Pembiasanya lensa 2 :

$$d = s'_1 + s'_2$$

$$s_2 = d - s'_1$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1}$$

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{50} + \frac{1}{s'_2}$$

$$\frac{1}{s'_2} = \frac{1}{20} - \frac{1}{50} = \frac{3}{100}$$

$$s'_2 = \frac{100}{3} \text{ cm}$$

Pembesaran total  $M_{\text{tot}} = M_1 \times M_2$

$$= \left[ \frac{-s'_1}{s_1} \right] \times \left[ \frac{-s'_2}{s_2} \right]$$

$$= \left[ \frac{-50}{50} \right] \times \left[ \frac{\frac{100}{3}}{50} \right]$$

$$= \frac{2}{3}$$

### Kuat lensa

Untuk menyatakan daya kumpul dan daya sebar suatu lensa orang menggunakan istilah kuat lensa,  $p$  didefinisikan sebagai kebalikan dari jarak focus.

Untuk lensa positif (fokusnya positif) kuat lensanya positif dan untuk lensa negative (fokusnya negative) kuat lensa juga negative. Semakin besar kuat positif semakin daya kumpul lensa itu dan semakin besar kuat lensa negative semakin kuat daya sebar lensa.

Satuan kuat lensa adalah dioptri jika  $f$  dinyatakan dalam m.

Contoh : hitung kuat lensa yang fokusnya :

d. 20cm

e. -40cm

penyelesaian :

kuat lensa merupakan kebalikan jarak focus  $P=1/f$  tapi harus diingat bahwa jarak focus lensa dinyatakan dalam m.

diketahui:

$$f_1 = 20\text{cm} = 0.2 \text{ m}$$

$$f_2 = -40\text{cm} = -0.4\text{m}$$

ditanya  $P_1$  dan  $P_2$

jawab:

$$P1 = 1/f = 1/0.2 = +5 \text{ dioptri}$$

$$P2 = 1/-0.4 = -2.5 \text{ dioptri}$$

### Lensa Gabungan

Suatu lensa gabungan merupakan dari dua lensa atau lebih yang disusun berdekatan sekali ( $d = 0$ ) dengan sumbu utama berdekatan sama lain. Anggap dua buah lensa dengan jarak focus  $f_1$  dan  $f_2$  diletakan berdekatan sekali  $d = 0$ . sebuah benda diletakan pada jarak  $s_1$  dari lensa pertama, menurut rumus pembuatan lensa kita dapat menghitung jarak bayangan  $s'_1$ .

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1}$$

$$\frac{1}{s'_1} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{s_1}$$

Jika  $d = 0$  maka

$$d = s_2 + s'_1$$

$$s_2 = -s'_1$$

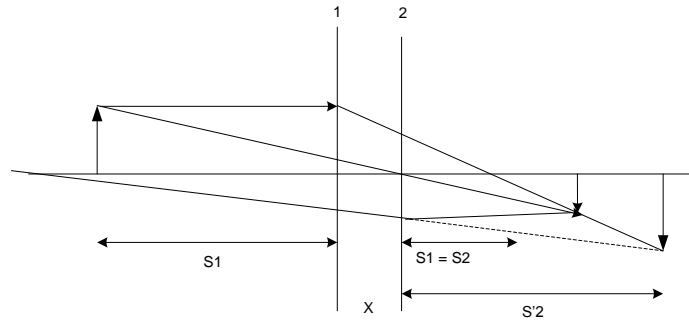
dengan rumus pembuatan lensa kita peroleh rumus berikut

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}$$

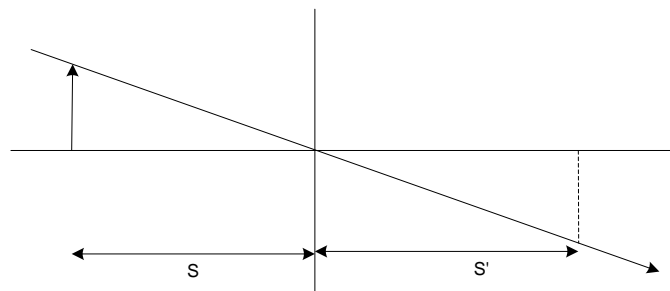
$$= \frac{1}{-s'_1} + \frac{1}{s'_2}$$

$$= -\left[\frac{1}{f_1} + \frac{1}{s_1}\right] + \frac{1}{s'_2}$$

$$= \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_2}$$



**Gambar 9.15a**



**Gambar 9.15b**

Sekarang perhatikan gambar 9.15a-b. pada gambar tampak bahwa  $s_1$  merupakan letak benda dan  $s'_2$  merupakan letak bayangan akhir. Jika kedua lensa kita anggap sebagai satu lensa (lensa gabungan) maka kita boleh mengatakan  $s_1 = s$  (jarak benda untuk lensa gabungan) dari  $s'_2 = s'$  (jarak bayangan untuk lensa gabungan)

Dengan menggunakan persamaan kita peroleh:

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_1} &= \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_2} \\ &= \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \\ &= \frac{1}{f_{gab}} \end{aligned}$$

Dengan demikian kita mendapatkan jarak focus gabungan untuk dua buah lensa yang diletakan berdekatan.

$$\frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Jarak focus gabungan dari n buah lensa adalah:

$$\frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots + \frac{1}{f_n}$$

Kuat lensa gabungan:

$$P_{gab} = \frac{1}{f_{gab}}$$

$$= \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots + \frac{1}{f_n}$$

$$= P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$$

**MODUL X**  
**FISIKA OPTIK**  
**LENSA GABUNGAN DAN KEKUATAN LENSA**

**Tujuan instruksional umum**

Setelah mempelajari pokok bahasan ini diharapkan dapat memahami persamaan – persamaan gabungan.

**Tujuan intruksional khusus:**

1. Dapat menggambar bayangan akibat susunan lensa dengan sumbu berimpit
2. dapat menghitung jarak bayangan oleh susunan lensa dan penbesaran bayangan
3. Dapat menghitung kuat lensa
4. Dapat menghitung parameter pada lensa gabungan

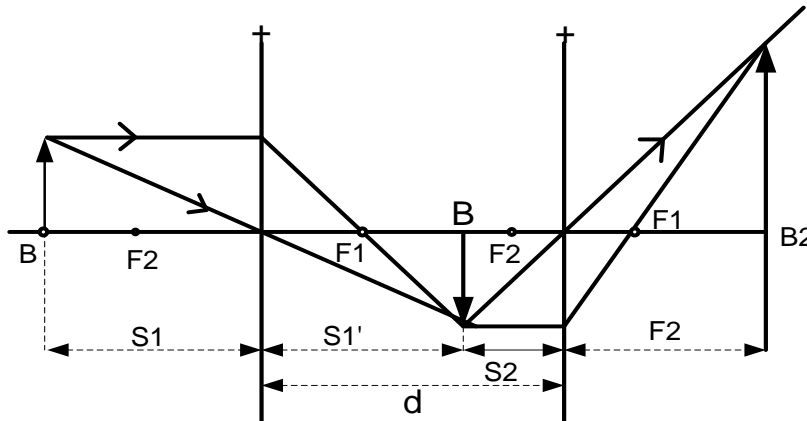
**BUKU RUJUKAN :**

- |                    |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| 1. Giancoli        | Physics                         |
| 2. Kane & sterhiem | Physics 3 <sup>rd</sup> Edition |
| 3. Sears & Zemanky | University Physics              |

### 10.1 Susunan dua lensa dengan sumbu utama terhimpit

Dalam penggunaan lensa sebagai alat optik sering kali merupakan gabungan dari beberapa lensa.

Pada gambar 10.1 dibawah ini menggambarkan dua buah linier dengan sumbu utama berhimpit



Gambar 10.1

Dua buah lensa positif dipisahkan oleh jarak satu sama lain. Sebuah benda diletakan pada jarak  $s_1$  dari lensa pertama akan membentuk bayangan pada jarak  $s_1'$  dari lensa pertama dan merupakan benda bagi lensa kedua akan membentuk bayangan akhir. Dari gambar terlihat bahwa

$d$  = jarak dua lensa

$s_2$  = jarak benda menurut lensa 2

$s_1'$  = jarak bayangan menurut lensa 1

Persamaan yang berlaku adalah persamaan lensa biasa yakni

Lensa 1

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{f_1}$$

dengan menggunakan jarak dua lensa

$$d = s_1' + s_2$$

$$s_2 = d - s_1'$$

maka persamaan pembiasan oleh dua lensa 2

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{(d - s_1')} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{f_2}$$

sedang pembesaran bayangan adalah sebagai berikut:

oleh lensa 1

$$M_1 = \frac{s_1'}{s_1}$$

Oleh lensa 2

$$M_2 = \frac{s_2'}{s_2}$$

dan pembesaran bayangan total adalah:

$$M = M_1 \times M_2$$

Contoh :

Suatu sistem terdiri dari dua lensa positif yang panjang fokusnya masing- masing 25 cm dan 20cm. Jarak kedua lensa 100cm dari lensa pertama hitunglah

- Jarak bayangan dari lensa dan pembesaran bayangan oleh lensa pertama
- Jarak bayangan lensa kedua dan pembesaran lensa dua
- Pembesaran total

Penyelesaian :

$$F_1=25\text{cm}$$

$$F_2=20\text{cm}$$

$$D=100\text{cm}$$

$$S_1=50\text{cm}$$

$$\text{Dit} = \dots ?$$

- $s_1'$ ;  $M_1$
- $s_2'$ ;  $M_2$
- $M_{\text{tot}}$



a. Pembiasan lensa 1

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{50} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{s_1'} = \frac{1}{25} - \frac{1}{50} = \frac{2}{50} - \frac{1}{50} = \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{s_1'} = \frac{1}{50}$$

$$s_1' = 50 \text{ cm}$$

$$M = \frac{s_1'}{s_1} = \frac{-50}{50} = -1x$$

b.  $d = s_1' + s_2$

$$100 = 50 + s_2$$

$$s_2 = 100 - 50 = 50 \text{ cm}$$

Pembiasan oleh lensa 2

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{50} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{5}{100} - \frac{2}{100} = \frac{3}{100}$$

$$s_2' = \frac{100}{3} \text{ cm}$$

$$M_2 = \frac{-s_2'}{s_2} = -\frac{100/3}{50} = -\frac{2}{3}x$$

$$c. M_{\text{tot}} = M_1 \times M_2 = -1x \left\{ -\frac{2}{3} \right\} = \frac{2}{3}x$$

## 10.2 Kuat Lensa

Untuk menyatakan daya kumpul dan daya sebar suatu lensa orang menggunakan istilah kuat lensa. Kuat lensa P didefinisikan sebagai kebalikan dari jarak fokus.

$$P = \frac{1}{f}$$

P = Kuat lensa

F = Jarak fokus

Untuk lensa positif ( fokusnya positif ) kuat lensa positif dan untuk lensa negatif ( fokusnya negatif ) kuat lensanya negatif

Semakin kuat lensa positif semakin kuat daya kumpul lensa itu dan semakin besar kuat lensa negatif semakin kuat daya sebar lensa itu. Yang harus diperhatikan didalam perhitungan kuat lensa adalah satuan fokusnya harus dihitung dalam meter.

Contoh :

Hitung kuat lensa yang fokusnya

a) 20cm

b) -40cm

Penyelesaian

a.  $f = 0,2\text{m}$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,2} = +5 \text{ dioptri}$$

b.  $f = -0,4\text{m}$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0,4} = -2,5 \text{ dioptri}$$

## 10.3 Lensa Gabungan

Lensa gabungan yang dimaksudkan dalam hal ini adalah lensa yang disusun berdekatan sekali ( $d = 0$ ) dengan sumbu utamanya berimpit satu sama lain. Misalkan dua buah lensa digabung dengan jarak fokus  $f_1$  dan  $f_2$  sebuah benda ditentukan pada jarak  $s_1$  dari lensa pertama.

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{f_1}$$

jika  $d = 0$

$$d = s_2 + s_2'$$

$$s_2 = -s_1'$$

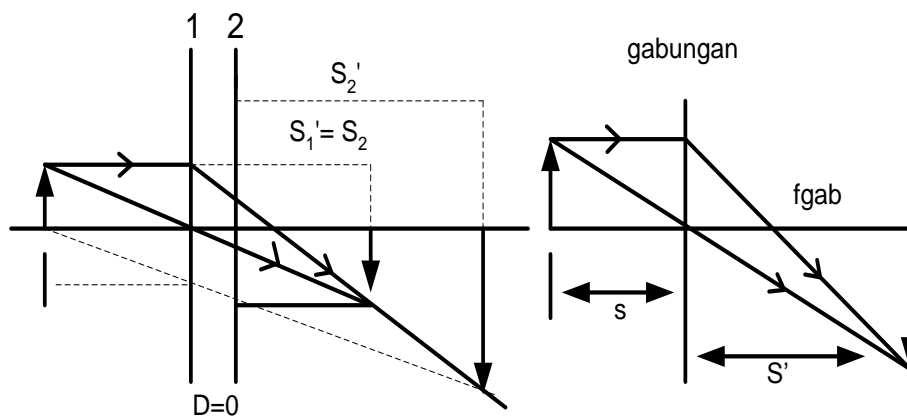
$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{f_2}$$

$$-\frac{1}{s_1'} + \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f_2}$$

Dari persamaan 1 dan 2

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} - \frac{1}{s_1'} + \frac{1}{s_2'}$$

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2'}$$



Gambar 10.2 Lensa gabungan

Pada gambar 10.2 a-b tampak bahwa  $s_1$  merupakan letak benda dan  $s_2'$  letak bayangan akhir. Jika kedua lensa kita anggap sebagai satu lensa ( Lensa gabungan ) maka kita boleh nyatakan.

$S_1 = s$  (jarak benda lensa gabungan)

$S_2' = s'$  (jarak bayangan untuk lensa gabungan)

Sehingga persamaan lensa gabungan adalah:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2'}$$

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f_{gab}}$$

$$\frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Dengan demikian kita mendapat jarak fokus gabungan untuk dua buah lensa yang diletakan berdekatan.

$$\frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \text{ (fokus gabungan)}$$

Jarak fokus gabungan dari sebuah lensa

$$\frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots + \frac{1}{f_n}$$

kuat lensa gabungan :

$$P_{gab} = \frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots + \frac{1}{f_n}$$

$$P_{gab} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

Contoh : Suatu sistem terbuat dari 3 lensa positif masing- masing fokusnya 10cm, 15cm dan 3cm.

Hitung : a. fokus gabungan, kuat lensa gabungan

b. Jarak bayangan jika benda disimpan 15cm dari sistem lensa tersebut

Penyelesaian :

$$F_1 = 10\text{cm}$$

$$F_2 = 15\text{cm}$$

$$F_3 = 30\text{cm}$$

$$S = 30\text{cm}$$

Hitung: a. fgab dan pgab

c. s'

Jawab:

$$\frac{1}{fgab} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3}$$

$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{30}$$

$$= \frac{3}{30} + \frac{2}{30} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{fgab} = \frac{6}{30}$$

$$fgab = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

$$P_{gab} = \frac{1}{fgab} = \frac{1}{0.05} = 20 \text{ dioptri}$$

$$\text{b. } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{fgab}$$

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{5}$$

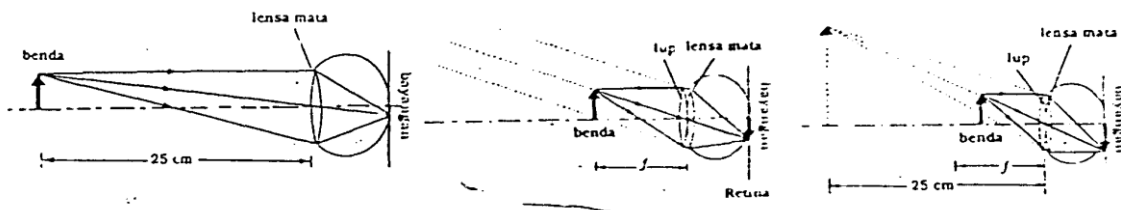
$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{5} - \frac{1}{15} = \frac{3}{15} - \frac{1}{15} = \frac{2}{15}$$

$$s' = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

**MODUL XI**  
**FISIKA OPTIK**  
**ALAT-ALAT OPTIK I**

**12.1 LUP**

Untuk mengamati benda lebih teliti biasanya orang berusaha memperbesar bayangan tajam yang terbentuk di retina dengan mendekatkan benda itu pada mata. Semakin dekat benda itu dengan mata, semakin besar bayangan tajam yang terbentuk di retina. Namun harus diingat bahwa benda tidak boleh diletakkan lebih dekat dari titik dekat mata orang itu jika tidak bayangan yang terbentuk tidak akan tajam lagi. Jika kita ingin memperbesar lagi ukuran bayangan yang terbentuk di retina, kita membutuhkan suatu alat yang dinamakan lup atau kaca pembesar, alat ini sangat sederhana sekali yaitu hanya terdiri dari satu lensa positif. Lensa positif inilah yang membentuk bayangan lebih besar sehingga mata mendapat kesan melihat benda nampak besar. Alat ini sudah dipakai sejak lama sekali. Pada tahun 1885 telah ditemukan suatu lup di reruntuhan istana kaisar Sanherib dari Syria (707-681 SM)



Gb. 12.1a-c.

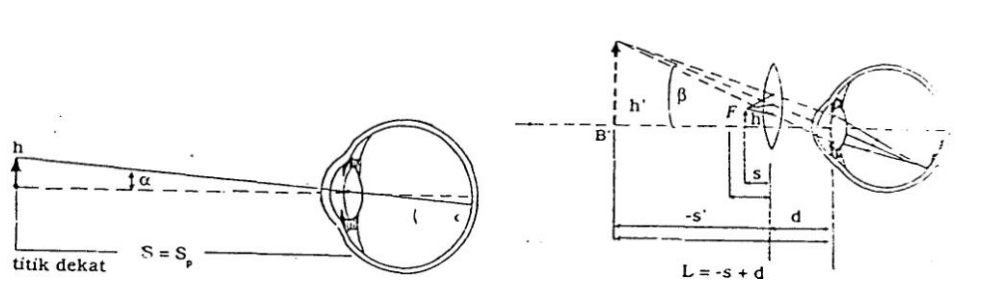
Melukiskan bayangan yang dibentuk oleh lensa mata terpanjang. Bayangan kecil terbalik ini akan diterjemahkan oleh otak sedemikian sehingga kita mendapat kesan melihat benda tegak yang besarnya sebesar ukuran aslinya. Gb. 12. 1b-c melukiskan bayangan yang terbentuk di retina dengan bantuan sebuah lup. Terlihat bahwa bayangan di retina lebih besar, ini akan diinterpretasikan oleh otak sehingga kita mendapat kesan benda tampak lebih besar dari ukuran aslinya.

Pada Gb. 12.b-c benda diletakkan di fokus lup, sehingga bayangan benda akan tampak tak hingga. Mata normal dapat melihat bayangan ini secara tajam tanpa

akomodasi Sedangkan pada Gb. 12.c-c benda diletakan antara fokus dan pusat optik Lup. Bayangan yang dibentuk Lup adalah maya, tegak dan diperbesar. Jika bayangan ini jatuh dititik dekat dan titik jauh mata (25 cm), mata normal dapat melihat bayangan ini secara tajam dengan berakomodasi maksimum. Dan jika bayangan ini jatuh diantara titik dekat dan titik jauh mata bayangan akan tampak jelas ketika mata berakomodasi sebagian. Tetapi jika bayangan ini jatuh diantara mata dan titik dekat, bayangan ini akan tampak kabur. Karena itu orang yang menggunakan lup harus meletakkan benda antara titik focus lup dengan pusat optik lup dan jangan diletakan terlalu dekat dengan pusat optik.

### PERBESARAN SUDUT

Sebagaimana dilihat melalui lup terhadap perbandingan bayangan sebagaimana dilihat mata tanpa alat (dengan berakomodasi maksimum) Untuk menghitung perbesaran sudut lup perhatikan Gb.12.2a-b



Gb.12.2a-b

Gb.12.2a-b melukiskan pembentukan bayangan yang dilihat dengan mata telanjang. Letak bayangan sudah diketahui yaitu di retina. jadi untuk membentuk bayangan kita cukup membutuhkan satu sinar saja yaitu yang menuju pusat optik.

$h$  = Tinggi benda  $\alpha$  dinamakan sudut penglihatan atau ukuran angular.

$S$  = jarak benda Ketika  $S = S_p$  ( $S_p$  = jarak titik dekat) mata berakomodasi maksimum tapi ketika  $S = S_R$  ( $S_R$  jarak titik jauh) mata tidak berakomodasi.

Untuk menurunkan rumus perbesaran  $S$  kita ambil sama dengan  $S_p$  (perhatikan definisi rumus perbesaran).Sedangkan Gb. 12.2b melukiskan pembentukan bayangan

benda di retina dengan bantuan Lup. Mula-mula Lup membentuk bayangan titik  $\beta'$ . Kemudian lensa mata membentuk bayangan  $\beta'$  di retina. Perhatikan bahwa untuk membentuk bayangan di retina kita hanya perlu satu sinar yang menuju pusat optik saja..

$h$  = tinggi benda  $h'$  = tinggi bayangan yang di bentuk oleh lup.  
 $d$  = jarak mata lensa.  $s'$  = jarak bayangan yang di bentuk oleh lensa.  
 (perhatikan disini  $s'$  bernilai negatif karena letak bayangan sepihak dengan letak benda).

$F$ =jarak fokus lensa positif. Perhatikan bahwa  $L - s' + d$  akan sama dengan  $s_p$  ketika mata berakomodasi maksimum (mengapa?) dan akan sama dengan  $S_R$  ketika mata tidak berakomodasi (mengapa?). sesuai dengan definsi. perbesaran sudut  $M_y$  lup adalah:

$$M_y = \frac{\beta}{\alpha}$$

Untuk sudut kecil berlaku  $\beta \approx \tan \beta$  dan  $\alpha \approx \tan \alpha$  Sehingga kita peroleh  $M_y = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$

Catatan:  $\tan \alpha = \frac{h}{s} = \frac{h}{s_p}$  (mata berakomodasi maksimum). Dari Gb. 12.2b kita lihat bahwa  $\frac{h'}{h} = \frac{S'}{S}$  (ingat  $s'$  bernilai negatif). Dengan menggunakan rumus pembuat lensa kita peroleh

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

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

$$\frac{1}{S} = \frac{S' - f}{fS'}$$

$$M_y = \frac{h' \cdot S_p}{h - S' + d} = \frac{-S' \cdot S_p}{S - S' + d}$$



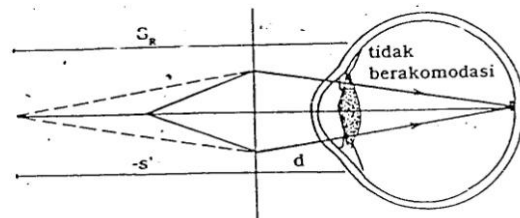
$$= \frac{-S \cdot S_p}{fs' - S' + d} = \frac{-S'(S' - f)S_p}{fS' \cdot -S' + d} = \frac{(f - S')S_p}{f \cdot -S' + d}$$

$$M_y = S_p \left( \frac{1}{-S' + d} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f(-S' + d)} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Ini adalah rumus umum perbesaran Lup! Ketika orang melihat dengan bantuan lup, mata orang itu dapat berakomodasi maksimum, berakomodasi pada jarak x (berakomodasi sebagian) atau tidak berakomodasi. Mari kita bahas kasus ini satu persatu:

### 1. Mata berakomodasi maksimum

Pada waktu mata berakomodasi maksimum berarti bayangan yang dibentuk lensa harus terletak pada titik dekatnya. Karena titik dekat diukur dari mata maka:  $-S + d = S_p$



Gambar 12.3

Rumus perbesaran lup menjadi:

$$\begin{aligned} M_y &= S_p \left( \frac{1}{-S' + d} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f(-S' + d)} \right) \\ &= S_p \left( \frac{1}{-S_p} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f \cdot S_p} \right) \\ &= \frac{S_p}{S_p} + \frac{S_p}{f} + \frac{-d \cdot S_p}{f \cdot S_p} \\ &= 1 + \frac{S_p}{f} + \frac{-d}{f} \end{aligned}$$

jika d diabaikan maka:

$$M_y = 1 + \frac{S_p}{f} \dots\dots\dots(2)$$

Ini merupakan maksimum lup.

2. Mata berakomodasi pada jarak x:

Pada waktu mata berakomodasi pada jarak x, berarti bayangan yang dibentuk lensa harus terletak pada jarak x dari mata,  $-S + d = x$

**Rumus perbesaran lup menjadi:**

$$M_y = S_p \left( \frac{1}{-S'+d} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f(-S'+d)} \right)$$

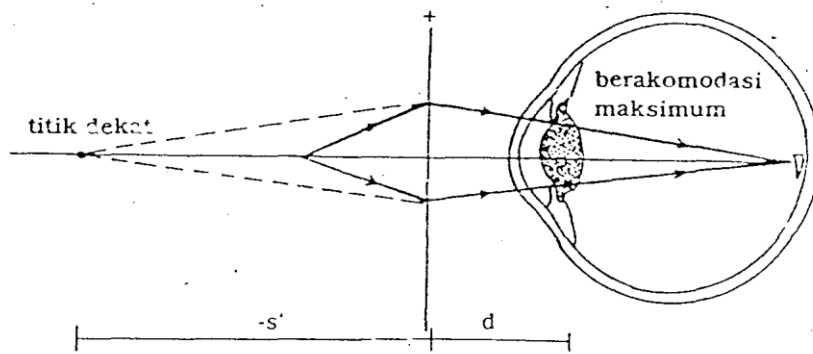
$$M_y = S_p \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{fx} \right)$$

**Jika d diabaikan maka:**

$$M_y = \frac{S_p}{x} + \frac{S_p}{f} \dots\dots\dots(3)$$

3. Mata tidak berakomodasi

Pada waktu mata tidak berakomodasi (orang melihat melalui lup dengan tidak berakomodasi untuk mencegah kelelahan pada mata), bayangan yang membentuk lensa harus terletak pada titik jauh mata,  $S'+d = S_R$



Gambar 12.4

**Dengan syarat rumus perbesaran lup menjadi:**

$$M_y = S_p \left( \frac{1}{-S'+d} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f(-S'+d)} \right) - S_p \left( \frac{1}{-S'+d} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f.S_R} \right)$$

**Jika d diabaikan maka:**

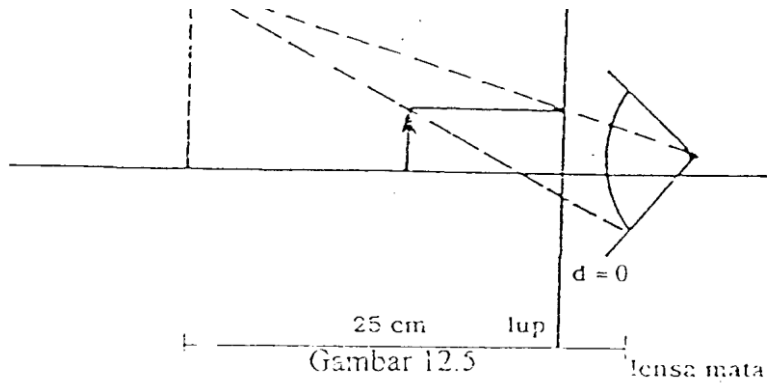
$$M_y = \frac{S_p}{S_R} + \frac{S_p}{f} \dots\dots\dots(4)$$

**Untuk mata normal  $S_R = \infty$  sehingga perbesaran lup menjadi:**

$$M_y = \frac{S_p}{S_R} + \frac{S_p}{f}$$

$$M_y = \frac{S_p}{f} \dots\dots\dots(5)$$

Catatan: kita tidak perlu menghafal rumus (2), (3), (4), dan (5). Yang perlu kita ingat hanya rumus (1) saja kemudian coba gunakan logika dan konsep tentang akomodasi mata untuk mendapatkan rumus-rumus yang lain. Perhatikan juga bahwa pada lup perbesaran sangat dipengaruhi oleh fokus lensa untuk mendapat perbesaran yang tinggi kita harus gunakan lensa dengan fokus kecil. Namun harus diingat bahwa kita tidak bisa membuat lensa sangat kecil karena aberasi sferis dan aberasi-aberasi lain akan memberikan efek yang dominan. Contoh 6: seorang tukang jam mempunyai sebuah lup yang fokusnya 5 Cm. Hitung perbesaran maksimum yang dapat diperoleh dan lup ini! Hitung juga perbesaran lup jika mata tidak berakomodasi. Abaikan jarak mata-lup dan anggap mata normal.



Penyelesaian:

a. Perbesaran maksimum akan dapat diperoleh ketika mata berakomodasi maksimum sebab pada waktu inilah lensa mata sangat bulat (kuat lensanya besar). Perbesaran maksimum terjadi ketika  $-s' + d = S_p = 25 \text{ cm}$  (mata normal). Masukan yang ditanyakan.

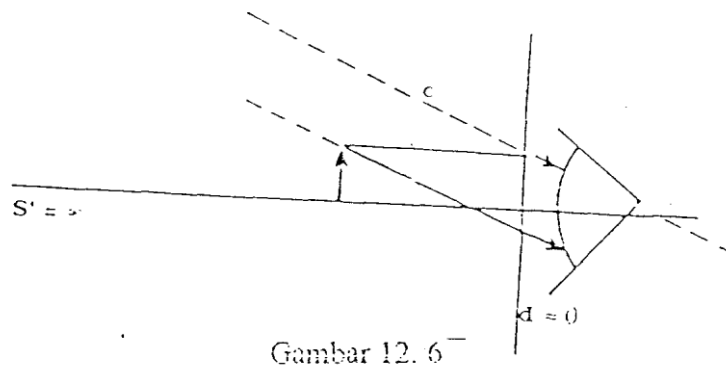
$$M_y = S_p \left( \frac{1}{-s' + d} + \frac{1}{f} + \frac{-d}{f(-s' + d)} \right)$$

$$= \left( \frac{1}{25} + \frac{1}{5} + \frac{0}{5.25} \right)$$

$$= 5.25x$$

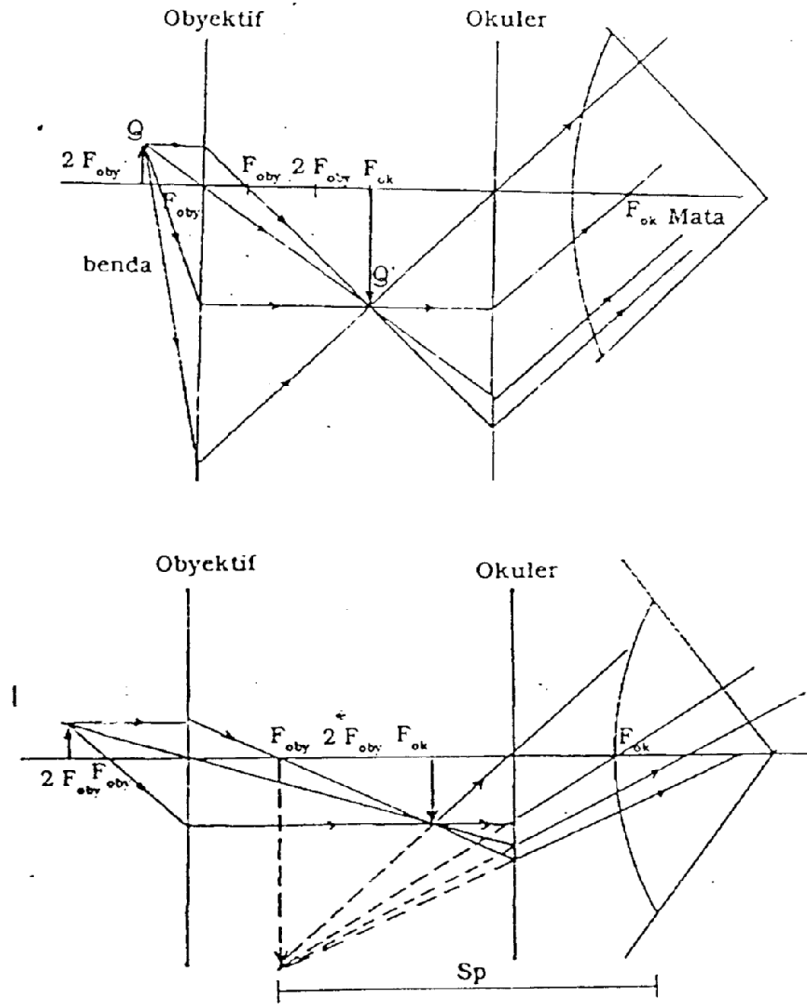
Catatan : Karena jarak lensa mata diabaikan maka  $d = 0$

b. Untuk mata tidak berakomodasi bayangan yang dibentuk lensa harus jauh di  $S_R$  ( $-\infty$ ) untuk mata normal, maka perbesarannya :



Gambar 12. 6

Tugas: Hitung perbesarannya jika berakomodasi pada jarak 40 cm. (petunjuk: gunakan  $-S' + d - 40$ ) Mikroskop Mikroskop merupakan suatu alat optik untuk melihat benda-benda kecil dengan perbesaran yang lebih besar dari perbesaran lup (dapat mencapai lebih dari 100 kali lipat dari besar benda). Mikroskop pertama kali ditemukan oleh Zacharias Janssen dari Belanda pada tahun 1590. Mikroskop terdiri dari 2 lensa. Lensa pertama dinamakan lensa obyektif yang diletakan dekat dengan benda yang akan diamati. Sedangkan lensa kedua yang diletakan dekat dengan mata pengamat dinamakan lensa okuler. Lensa okuler disini bertindak sebagai lup. Gb. 12.7a melukiskan sebuah benda PQ yang diletakan di depan sebuah lensa obyektif suatu mikroskop. Benda ini harus diletakan di antara  $f_{Oby}$  dan  $2f_{Oby}$ , agar bayangan ( $P'Q'$ ) benda dibelakang lensa obyektif diperbesar (jika benda diletakan antara  $2f_{Oby}$  dan tak hingga, maka bayangan akan diperkecil, buktikan!) pada gambar ini bayangan benda jatuh di fokus lensa okuler. Bayangan ini merupakan benda bagi lensa okuler dan lensa okuler akan membentuk bayangan benda ini tak hingga. Mata kita (normal) maupun melihat bayangan ini tanpa akomodasi. Sedangkan pada Gb 12.7b bayangan benda jatuh di titik dekat mata, bayangan ini dapat terlihat jelas oleh mata yang berakomodasi maksimum.

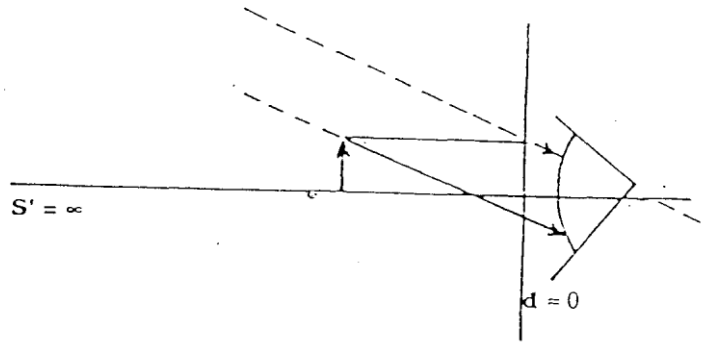


Gambar 12.7a-b

Perbesaran sudut pada sebuah mikroskop merupakan perbesaran yang disebabkan oleh lensa obyektif dan lensa okuler

Perbesaran obyektif merupakan perbesaran lensa positif biasa

$$M_y = \frac{-S'_{Oby}}{S_{Oby}} \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 12.8

Sedangkan perbesaran oleh lensa okuler sama dengan perbesaran lup yaitu dengan menggunakan persamaan (1). Namun disini  $d$  dapat diambil sama dengari nol (karena ketika orang melihat melalui mikroskop biasanya matanya sangat dekat dengan lensa okuler).

$$M_{ok} = M_y = S_p \left( \frac{1}{-S'_{ok}} + \frac{1}{f} \right) \dots\dots\dots(7)$$

Catatan : Jika mata berakomodasi maksimum maka  $-S_{ok} = S_p$  dan jika mata tidak berakomodasi  $-S'_{ok} = S_R$

Perbesaran total misroskop

$$M_{tot} = M_{Oby} \times M_{ok} \dots\dots\dots(8)$$

Panjang Mikroskop

Pajang mikroskop yang merupakan jarak antara lensa okuler dengan lensa obyektif, pada umumnya sekitar 18-25 cm yaitu agar memudahkan pengamatan ketika kita melakukan. mikroskop diatas meja. Pada Gb. 12.8. panjang mikroskop ditentukan oleh letak bavgangan yang dibentuk oleh lensa obyektif  $S'_{Oby}$  dan jarak benda pada lensa okuler  $S_{Ok}$ .  $L = S' + S_{Ok}$ .

Contoh 7: sebuah mikroskop mempunyai lensa obyektif dengan fokus 1 cm dan lensa okuler dengan fokus 4 cm. Anggap jarak kedua lensa  $L = 21$  cm. Hitung perbesaran mikroskop ketika: A) Mata tidak berakomodasi B) Mata berakomodasi maksimum.

Mata dianggap normal dengan  $S_p = 25 \text{ cm}$  dan  $S_R = \infty$  Penyelesaian: Perbesaran mikroskop disebabkan oleh perbesaran obyektif dan perbesaran okuler.

a) Untuk mata tidak berakomodasi bayangan akhir benda harus jatuh pada titik jauh mata  $-S_{Ok} = \infty$  Perbesaran okuler dapat dicari dengan rumus (7) dimana kita ambil  $-S'_{Ok} = \infty$ .

$$\begin{aligned} M_{Ok} &= S_p \left( \frac{1}{-S'_{Ok}} + \frac{1}{f} \right) \\ &= S_p \left( \frac{1}{\infty} + \frac{1}{f_{Ok}} \right) \\ &= 25 \left( \frac{1}{\infty} + \frac{1}{10} \right) = 25x \end{aligned}$$

Untuk mencari perbesaran lensa obyektif kita harus cari dulu  $S'_{Oby}$  dan  $S_{Oby}$  Keduanya dapat dicari dengan mencari dulu jarak  $S_{Ok}$ , dengan rumus pembuat lensa lalu gunakan rumus panjang mikroskop. Lensa Okuler:

$$\begin{aligned} S'_{Ok} &= \infty \\ &= \frac{1}{S_{Ok}} + \frac{1}{\infty} \\ S_{Ok} &= f_{Ok} = 1 \text{ cm} \end{aligned}$$

### **Rumus panjang mikroskop**

$$\begin{aligned} L &= S'_{Oby} + S_{Ok} \\ S'_{Oby} &= L - S_{Ok} \\ &= 21 - 1 = 20 \text{ cm} \end{aligned}$$



## Lensa Obyektif

$$S'_{oby} = 20cm$$

$$f_{oby} = 4cm$$

$$\frac{1}{f_{oby}} = \frac{1}{S_{oby}} + \frac{1}{S'_{oby}}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{20} + \frac{1}{S'_{oby}}$$

$$\frac{1}{S_{oby}} = \frac{1}{4} - \frac{1}{20} = \frac{4}{20}$$

$$S_{oby} = 5cm$$

## Perbesaran lensa Obyektif

$$M_{oby} = \frac{S'_{oby}}{S_{oby}}$$

$$= \frac{-20}{5} = -4x$$

Tanda minus menunjukkan bayangan-bayangan terbalik)

## Perbesaran total:

$$M_{tot} = M_{oby} \times M_{ok}$$

$$= -4x \times 25 = -100x$$

Tanda minus menunjukkan bayangan akhir terbalik.

**MODUL XII**  
**FISIKA OPTIK**  
**ALAT-ALAT OPTIK II**

**Alat-Alat Optik**

**11.1 Mata**

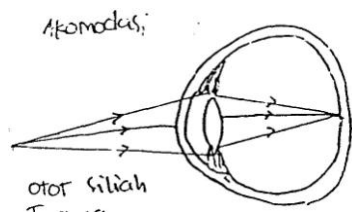
Secara fisis mata merupakan alat optik yang terdiri dari lensa mata dilengkapi dengan diafragma dan Retina (R). Diafragma berfungsi untuk mengatur intensitas yang masuk, maksudnya akan menyempit jika cahaya yang masuk / datang terlalu besar dan sebaliknya. Retina berfungsi sebagai layar penangkap bayangan yang dihasilkan oleh mata. Dengan demikian agar suatu benda dapat dilihat oleh mata dengan jelas bayangan yang dihasilkan oleh lensa mata harus tepat pada retina. Susunan mata secara garis besarnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



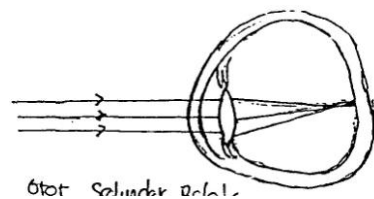
Gambar 11.1 Mata

Dalam batas-batas tertentu variasi jarak benda terhadap lensa mata dapat diimbangi oleh otot mata yang mengatur ketebalan (yang berarti pula jarak fokus) mata agar bayangan benda tepat pada retina proses penyesuaian ini disebut akomodasi. Batas-batas yang dimaksud adalah titik dekat mata (punctum proximum) dan titik jauh mata (punctum remotum).

Titik dekat mata adalah jarak terdekat ke mata yang masih dapat dilihat dengan jelas (mata berakomodasi maksimum), sedangkan titik jauh mata adalah jarak terjauh yang masih dapat dilihat dengan jelas (mata berakomodasi minimum atau tidak berakomodasi). Karena mata dapat berakomodasi minimum dan maksimum maka mata dapat melihat benda-benda diantara titik jauh dan titik dekat. Jarak diantara objek yang diamati ke mata sering disebut sebagai jarak akomodasi mata. Kemampuan mata untuk mengubah fokus karena lensa mata elastis, proses ini dilakukan oleh otot-otot Siliar (*"Ciliary muscles"*) dan sendi pengikat atau sendi perekat yang menggantung lensa pada posisinya.



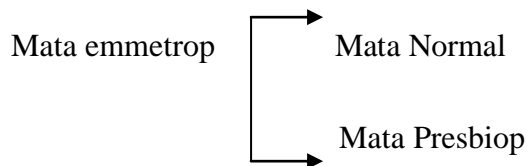
Gambar 11.2a

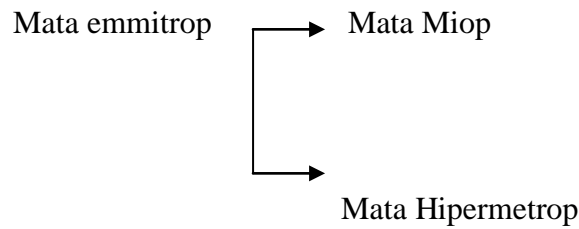


Gambar 11.2b

- a. Melihat tanpa akomodasi lensa pipih
- b. Melihat dengan akomodasi lensa mencembung

Pada mata normal titik dekat mata sekitar 25 cm, sedang titik jauh dapat dianggap tak berhingga. Jika kita benar-benar mengukur jarak retina dengan lebih teliti kita akan memperoleh kuat lensa mata normal (tidak berakomodasi) sekitar 60 dioptri dan mata berakomodasi maksimum 64 dioptri. Karena pengaruh usia atau kelainan bentuk bola mata, titik dekat, atau titik jauh mata berbeda-beda. Karena tersebut secara garis besar, berdasarkan titik dekat dan titik jauhnya, maka dibedakan:





## 11.2 Mata Presbiopi dan Lensa yang digunakan

Akibat bertambahnya usia menjadikan lensa kita bertambah (kurang kuat) akibatnya tidak dapat melihat jarak jauh. Disamping itu lensa bertambah keras dan kaku serta otot-otot siliar menjadi lemah akibatnya daya akomodasinya berkurang sehingga sukar melihat jarak dekat. Mata jenis ini harus dibantu oleh kaca mata dua fokus.

Kaca mata bagian atas untuk melihat jarak jauh (minus) dan bagian bawah menggunakan kaca mata untuk melihat jarak dekat (kaca mata plus).

Contoh: Seorang mata presbiopi mempunyai titik dekat dan titik jauh masing-masing 60 cm dan 3 cm. Berapakah nomor kaca mata bifokal (dua fokus) yang harus dipakai agar dapat melihat normal.

$$S = 25\text{cm}$$

$$S' = -60\text{ cm (tanda negatif menunjukkan bayangan sepihak dengan benda)}$$

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

$$\frac{1}{25} + \frac{1}{-60} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{12}{300} - \frac{5}{300} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{7}{300} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{500}{7} \text{ cm}$$

$$P = \frac{1}{f(\text{cm})} = \frac{1}{\frac{500}{7}} = \frac{7}{500} \text{ dioptri}$$

Agar dapat melihat dengan jarak dekat normal Melihat jauh (kaca mata atas ) benda diletakan pada jarak tak hingga dan bayangannya harus pada titik jauhnya 3 m

$$S = \infty$$

$S' = -3$ , (tanda minus karena bayangan pada pihak yang sama dengan benda).

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

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{-3} = \frac{1}{f}$$

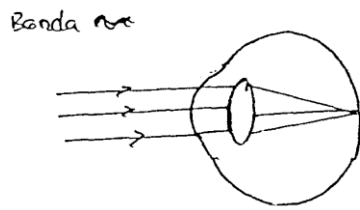
$f = -3$  m (kaca mata minus)

$$P = \frac{1}{f} = -\frac{1}{3} \text{ dioptri}$$

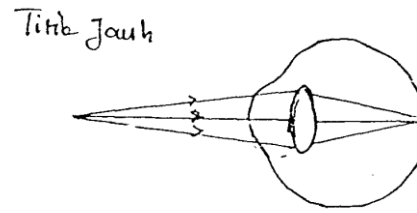
## 11.2 Miopi

Mata normal mampu melihat pada jarak 25 cm sampai jarak tak hingga mempunyai kuat lensa sekitar 60-64 dioptri namun ada lensa yang terlalu kuat mengumpulkan sinar sehingga sinar dan benda yang jauh tak hingga dikumpulkan di depan retina. Mata demikian dinamakan mata miopi. Mata miopi tidak dapat melihat benda jauh yaitu baangan selalu jatuh di depan retina. Titik jauhnya ha.nya beberapa

meter saja (tidak tak hingga seperti pada mata normal). Benda yang terletak lebih jauh dan titikjauh tidak dapat dilihatnya.



Gambar 11.3 a



Gambar 11.3 b

Benda yang terletak antara titik dekat mata dengan titik jauhnya dapat dilihat dengan berakomodasi sebagian titik dekatnya (titik dekat miopi sama dengan titik dekat mata normal yaitu 25 cm). Benda dapat dilihat jelas jika mata berakomodasi maksimum. Untuk menanggulangi mata miopi diperlukan alat bantu kaca yang mempunyai lensa bersifat menyebarkan sinar kaca mata berfokus negatif.

Contoh: 11.2.1

Lensa mata seseorang miopi terlalu kuat sehingga ketika tidak berakomodasi kuat lensanya 63 dioptri kuat lensa mata normal ketika melihat tidak berakomodasi 60 dioptri . hitung berapa kuat lensa kaca mata yang harus digunakan agar mata miopi ini dapat melihat normal.

Penyelesaian:

Lensa yang digunakan adalah lensa negatif sehingga kuat lensa total sama dengan kuat lensa mata normal (60 dioptri).

$$60 \text{ dioptri} = 63 + P_{\text{kacamata}}$$

$$P_{\text{kaca mata}} = 60 - 63 = -3 \text{ dioptri}$$

Contoh 11.2.2

Seorang anak tidak dapat melihat dengan jelas pada jarak lebih jauh dan 80 cm. Berapa ukuran kaca mata yang harus dipakai anak tersebut. Penyelesaian:

Jarak benda  $S = \sim$

Jarak bayangan  $s' = -80$  cm (bayangan pada pihak yang sama dengan benda)

$$f = \dots\dots\dots?$$

$$P = \dots\dots\dots?$$

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

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{-80} = \frac{1}{f}$$

$$f = -80\text{cm} = -0.8\text{m}$$

$$P = \frac{1}{f} = -\frac{1}{0.8} = -1.25\text{dioptri}$$

### 11.3 Mata Hipermetropi

Kebalikan dan mata miopi adalah mata hipermetropi yang disebabkan karena mata terlalu lemah kuat Lensanya, dalam keadaan tidak berakomodasi kurang dan 60 dioptri, katakanlah 57 dioptri untuk melihat benda jauh tak hingga ia dapat menaikkan dengan berakomodasi sebagian (tidak maksimum) sehingga kuat lensanya naik dan 57 dioptri menjadi 60 dioptri. Namun untuk melihat benda di titik dekatnya, misalnya pada jarak 25 cm dibutuhkan kuat lensa 64 dioptri (untuk mata normal) padahal ia maksimum hanya bisa menambah sampai  $57 + 4 = 61$  dioptri, ini tidak cukup untuk melihat pada jarak 25 cm ia butuh tambahan 3 dioptri lagi yang diperoleh dan lensa positif

Contoh 11.3.

Seorang tidak dapat melihat dengan jelas pada jarak lebih kecil dari 75 cm berapa ukuran kaca mata agar dapat melihat daya normal. Penyelesaian:

$$S = 25 \text{ cm (tempat meletakkan benda)}$$

$$S' = -75 \text{ (bayangan dapat dilihat dari lensa mata sepihak dengan benda)}$$

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

$$= \frac{1}{25} + \frac{1}{-75} = \frac{3}{75} - \frac{1}{75}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{75} \text{ cm}$$

$$f = \frac{75}{2} \text{ cm} = \frac{0.75}{2} \text{ m}$$

$$\text{sehingga } P = \frac{1}{f(m)} = \frac{1}{0.75/2} = \frac{2}{0.75} = +2.67 \text{ dioptri}$$