

SUMBER BELAJAR PENUNJANG PLPG 2016

MATA PELAJARAN IPA

BAB XIII

GELOMBANG, BUNYI, DAN OPTIK



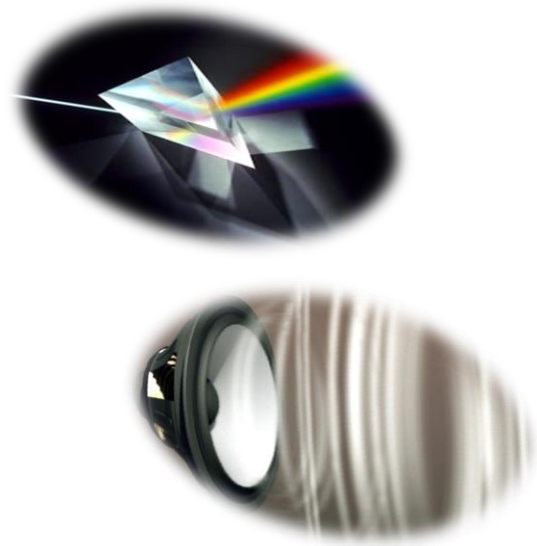
Dr. RAMLAWATI, M.Si.

SITTI RAHMA YUNUS, S.Pd., M.Pd.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016**

BAB XIII

GELOMBANG, BUNYI, DAN OPTIK



Sumber: www.universalb.com

Kompetensi Inti (KI)

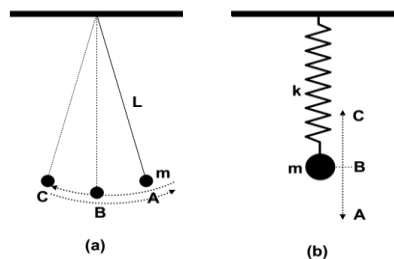
Menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.

Kompetensi Dasar (KD)

1. Memahami konsep getaran, gelombang, bunyi, dan pendengaran, serta penerapannya dalam sistem sonar pada hewan dan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Mendeskripsikan sifat-sifat cahaya, pembentukan bayangan, serta aplikasinya untuk menjelaskan penglihatan manusia, proses pembentukan bayangan pada mata serangga, dan prinsip kerja alat optik.

A. Getaran

Untuk mempelajari konsep getaran, pertama-tama marilah kita perhatikan gambar badul dan pegas di bawah ini:



Gambar 13.1 Getaran

Sumber: Suharto, 2016

Bandul pada gambar a di atas (berada pada ruang hampa udara) mempunyai panjang l dan massa m dimana B adalah titik seimbang bandul, jika bandul ditarik menyimpang dari posisi kesetimbangan yaitu ke titik A kemudian dilepas, maka bandul akan bergerak ke titik B kemudian ke titik C dan akan berbalik arah ke titik kesetimbangan yaitu ke titik B kemudian kembali ke titik awal yaitu ke titik A, dan berulang begitu seterusnya.

Bandul pada gambar b (berada pada ruang hampa) memiliki konstanta pegas k dan diujung pegas tersebut digantungkan beban bermassa m , sehingga berada pada posisi kesetimbangan pada posisi B. Kemudian pegas tersebut ditarik sehingga bertambah panjang dan berada pada posisi A. Selanjutnya pegas dilepas. Pegas akan bergerak dari titik A ke titik B kemudian ke titik C kemudian berbalik arah kembali ke posisi B dan menuju posisi awal yaitu posisi A dan berulang, begitu seterusnya.

Kedua jenis benda di atas baik bandul maupun pegas menunjukkan gerak bolak-balik bergerak dari posisi A kemudian kembali ke posisi awal yaitu posisi awal, gerakan tersebut berulang sehingga disebut gerak harmonik. Gerak harmonik tersebut biasa juga dikenal dengan istilah getaran.

Getaran memiliki besaran-besaran fisis tertentu tertentu, Mari kita perhatikan kembali gambar di atas. Pada bandul dan Pegas terdapat titik kesetimbangan yaitu titik B, jika bandul maupun pegas ditarik menuju titik A, maka titik di antara titik B dan titik A merupakan simpangan, simpangan terjauh berada pada titik A yang biasa juga disebut simpangan maksimum. Simpangan maksimum tersebut juga dikenal dengan istilah Amplitudo.

Bandul dan pegas bergerak dari titik A ke titik B kemudian ke titik C dan kemudian berbalik ke titik B dan kembali ke titik A, gerakan tersebut A-B-C-B-A disebut satu kali getar. Waktu yang dibutuhkan oleh bandul dan pegas untuk satu kali bergetar dinamakan Periode yang disimbolkan sebagai T . Parameter yang lain dari sebuah getaran adalah frekwensi yang disimbolkan sebagai f yang didefinisikan sebagai banyaknya getaran dalam satuan waktu. Secara matematis hubungan antara periode dan frekwensi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f}$$

Keterangan :

f = frekwensi (1/s) atau Hz

T= Amplitudo (s)

Untuk besarnya periode pada bandul dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Keterangan :

l= panjang tali (m)

g= percepatan gravitasi(ms^{-2})

Sedangkan untuk menghitung besarnya periode pada pegas dapat menggunakan persamaan :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Keterangan :

m= massa beban pegas (m)

k= konstanta pegas (N/m)

B. Gelombang

Pada bagian sebelumnya kita telah membahas tentang getaran, pada bagian ini kita mencoba membahas lebih lanjut tentang bagaimana jika sekiranya getaran itu merambat. Rambatan dari getaran juga disebut sebagai gelombang. Partikel dan gelombang keduanya dapat membawa energi namun transfer energinya berbeda. Sebagai contoh jika kamu melontarkan sebuah bola ke arah temanmu, bola tersebut berpindah dan membawa energi. Namun jika kamu dan temanmu memegang masing masing ujung tali kemudian menggetarkan tali tersebut. Tidak ada perpindahan materi dari getaran tersebut tapi ada perpindahan energi melalui gelombang tali menuju arah temanmu.

Berdasarkan penyebab timbulnya gelombang, gelombang dibedakan menjadi dua jenis yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik merupakan gelombang yang terjadi disebabkan gangguan mekanis seperti benturan, pukulan, sedangkan

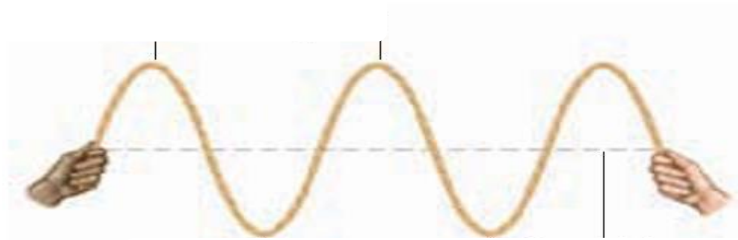
gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang terbentuk diakibatkan interaksi listrik dan magnet.

Gelombang air, gelombang suara dan gelombang pada tali merupakan contoh dari gelombang mekanik. Gelombang mekanik memerlukan medium dalam perambatannya, gelombang air memerlukan air dalam merambat.



Gambar 13.2 Gelombang air
Sumber: Physical science

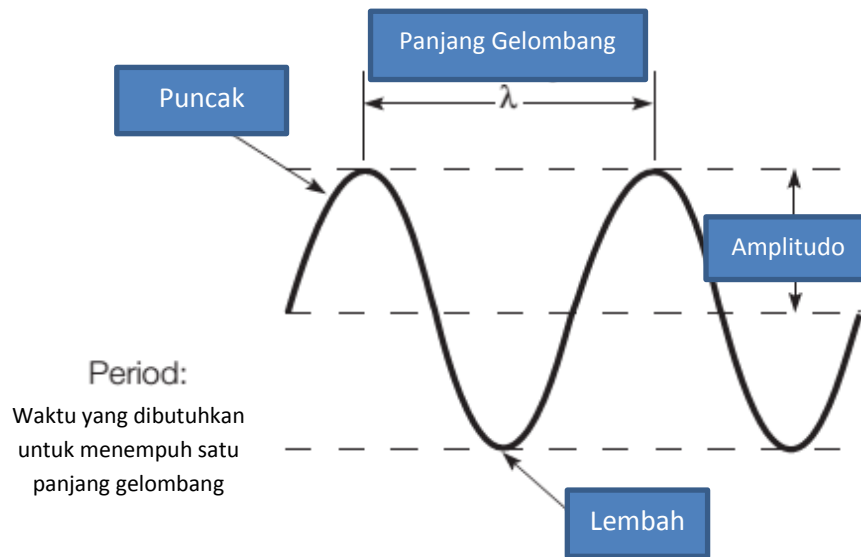
Berdasarkan arah rambatnya, gelombang mekanik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal merupakan gelombang yang arah rambatnya tegak lurus dengan arah getarnya. Untuk lebih memahami gelombang transversal perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 13.3 Gelombang pada tali
Sumber: Feather, R. M., McLaughlin, C. W., Thompson, M., & Zike, D., 2009

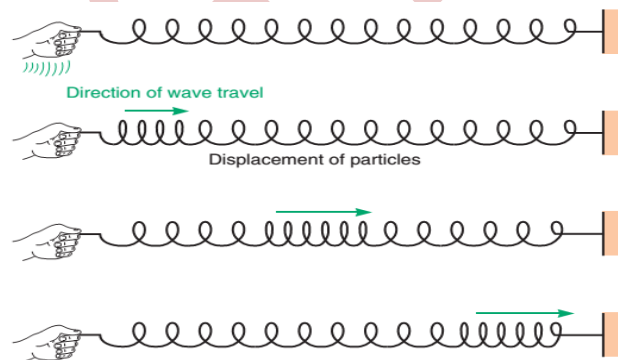
Jika kamu dan temanmu masing-masing memegang ujung seutas tali dan salah satu diantara kalian menggerakkan naik turun dan yang lain menahan pada posisinya maka akan terjadi pola seperti gambar di atas. Arah rambatnya menuju arah temanmu sedangkan arah getarnya naik turun.

Untuk dapat memahami lebih lanjut marilah kita menentukan besaran fisis untuk gelombang. Karena gelombang merupakan getaran yang merambat sehingga besaran fisis yang terdapat pada getaran juga terdapat pada gelombang yaitu; Amplitudo, frekuensi, Periode. Perhatikan gambar di bawah ini :



Gambar 13.4 Gelombang transversal
 Sumber: Tipler, 2008

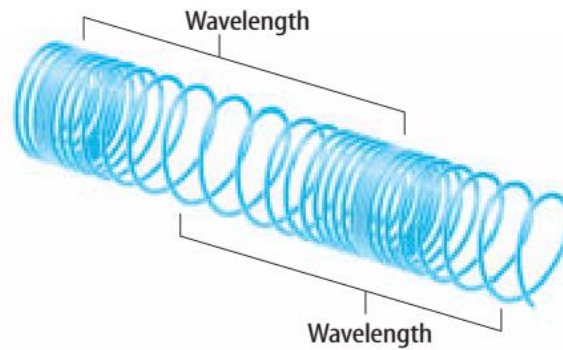
Gelombang longitudinal merupakan gelombang yang arah rambatannya searah dengan arah getarnya. Sebagai contoh jika kita menggerakkan slinki kedepan dan kebelakang maka akan terbentuk rapatan dan regangan pada selingki tersebut. Perhatikan gambar di bawah ini:



Gambar 13.5 Perambatan gelombang
 Sumber: Tipler, 2008

Gambar di atas terlihat bahwa sebuah slinki direntangkan dimana salah satu ujungnya terikat dan yang lain kita pegang kemudian kita gerakkan kedepan dan kebelakang. Kita dapat melihat pola yang terbentuk yaitu terdapat regangan dan rapatan. Terdapat perambatan gelombang.

Sama seperti pada gelombang transversal, gelombang longitudinal juga memiliki besaran-besaran fisis, yaitu : Amplitudo, Periode, frekuensi panjang gelombang dan cepat rambat gelombang. Untuk memahami lebih lanjut besaran fisis pada gelombang longitudinal perhatikan gambar di bawah ini .



Gambar 13.6 Panjang gelombang pada slinki
Sumber: Feather, R. M., McLaughlin, C. W., Thompson, M., & Zike, D.,2009

Jika pada gelombang trasnversal, panjang gelombang didefenisikan sebagai jarak antara satu puncak ke puncak lainnya atau satu lembah ke lembah lainnya. Panjang gelombang pada gelombang longitudinal didefenisikan sebagai jarak rapatan ke rapatan berikutnya atau jarak antara regangan ke regangan berikutnya.

C. Bunyi

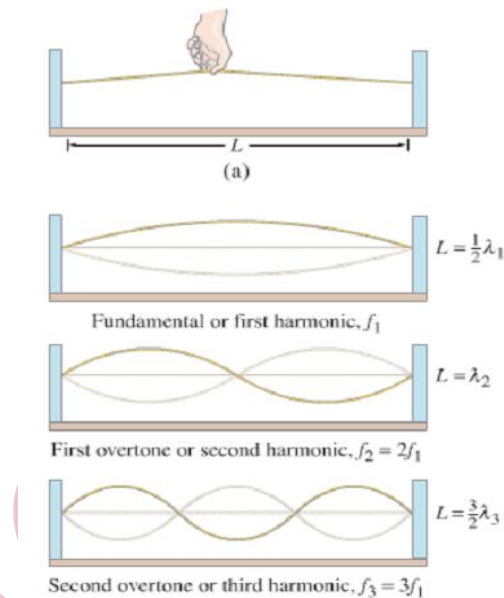
Pada bagian ini kita akan membahas salah satu jenis dari gelombang longitudinal yaitu bunyi, bunyi dikaitkan dengan indra pendengaran kita. Istilah bunyi mengacu pada sensasi fisik yang mencapai telinga kita. Dalam mempelajari bunyi, bunyi apapun itu kita dapat membedakan tiga aspek. Aspek yang pertama adalah aspek sumber bunyi, aspek yang kedua yaitu besar energi yang di transmisikan, energi yang ditransimisikan dalam bentuk gelombang. Aspek ketiga adalah detektor bunyi, biasanya detektor berupa telinga atau mikrofon.

Aspek pertama dalam sebuah bunyi adalah sumber bunyi. Karena hampir semua benda dapat bergetar sehingga hampir semua dapat menjadi sumber bunyi. Namun pada kesempatan kali ini kita hanya akan membahas beberapa sumber bunyi yang sederhana,

khususnya alat musik. Pada alat musik sumber bunyinya dapat dibuat bergetar dengan memukul, memetik, menggesek dan meniup.

Secara umum, sumber bunyi pada alat musik memanfaatkan dawai atau kolom udara sebagai sumber getaran. Alat musik yang memanfaatkan dawai antara lain : biola, gitar, piano sedangkan yang menggunakan kolom udara yaitu seruling, terompet dan organ pipa.

1. Alat Musik Berdawai



Gambar 13.7 Gelombang stasioner
Sumber: Giancoli, 2005

Gambar di atas menunjukkan gelombang stasioner pada dawai yang merupakan dasar untuk semua alat musik yang berdawai. Titik nadanya biasanya ditentukan oleh frekuensi resonansi rendah yaitu frekuensi fundamental, yang berkaitan dengan simpul-simpul (node) yang terjadi dibagian ujung. Dawai yang bergerak ketas dan kebawah secara keseluruhan berkaitan dengan setengah panjang gelombang seperti pada gambar kedua, sehingga panjang gelombang fundamental pada dawai adalah sama dengan dua kali panjang l dari dawai. Oleh karena itu, frekuensi fundamental adalah $f_1 = v/\lambda = v/2l$ dimana v adalah kecepatan gelombang pada dawai (bukan pada udara). Kemungkinan frekuensi untuk gelombang stasioner pada tali yang terbentang adalah kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya.

$$f_n = nf_1 = n \frac{v}{2l}, n = 1, 2, 3, \dots$$

Dimana $n = 1$ mengacu pada frekuensi fundamental dan $n = 2, 3, \dots$ adalah overtone. Seluruh gelombang stasioner, $n = 1, 2, 3$ disebut harmonik. Ketika jari ditekan pada dawai gitar atau biola, panjang efektif dawai yang bergetar itu lebih pendek. Jadi frekuensi fundamentalnya lebih pendek. Dawai, dawai pada gitar atau biola semua sama panjang. Mereka memperdengarkan nada yang berbeda karena masing-masing dawai memiliki massa yang berbeda persatuan panjang $v = \sqrt{F_T/\mu}$

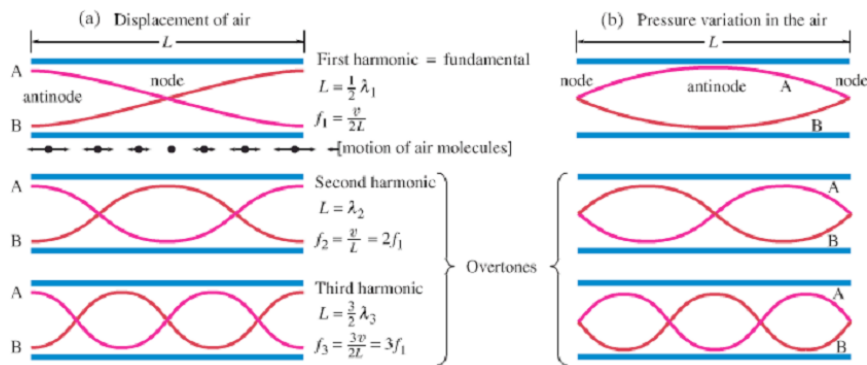
2. Alat Musik Tiup

Alat-alat musik seperti alat musik tiup kayu (woodwind), alat musik tiup logam (brass) dan organ pipa menghasilkan bunyi dari getaran gelombang stasioner pada kolom udara didalam tabung. Gelombang stasioner dapat terjadi di udara pada rongga apapun, termasuk rongga tenggorokan manusia, tetapi frekuensi yang timbul itu rumit pada semua bentuk benda kecuali bentuk yang sangat sederhana, seperti tabung tabung yang seragam dan sempit seperti pada seruling dan pipa organ.

Dalam menganalisis gelombang stasioner pada pipa organa, terdapat dua variasi pipa organ yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup. Pada pipa organa terbuka kedua ujung pipa terbuka sedangkan pada pipa organa tertutup salah satu diantara ujung pipa organa tertutup.

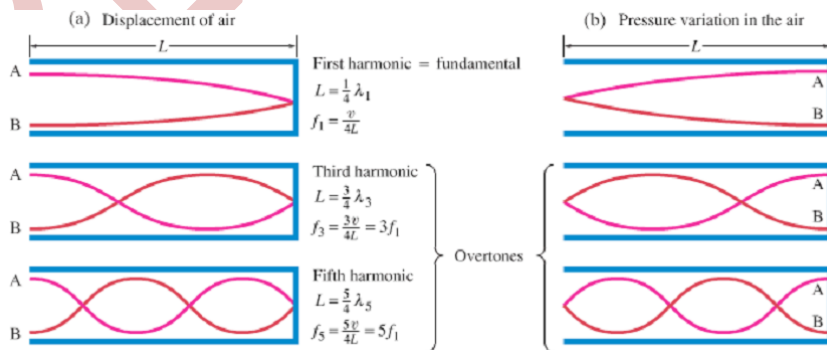
Pertama-tama kita bahas terlebih dahulu pipa organa terbuka. Sebuah tabung terbuka memiliki anti simpul perpindahan di kedua ujungnya karena udara bebas untuk bergerak di ujung-ujungnya yang terbuka. Harus ada setidaknya satu simpul dalam sebuah tabung terbuka agar setidaknya satu gelombang berdiri. Sebuah simpul tunggal sesuai dengan frekuensi fundamental dari tabungnya. Karena jarak antara kedua simpul berturut-turut atau antara dua simpul berturut-turut, adalah $1/2\lambda$, ada satu setengah panjang gelombang sepanjang tabung untuk kasus yang paling sederhana $l = \frac{1}{2} \lambda$ atau $\lambda = 2l$. Jadi frekuensi fundamentalnya adalah $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$ dimana v adalah kecepatan bunyi di udara. Gelombang stasioner dengan dua simpul adalah overtone pertama atau harmonik kedua dan memiliki setengah panjang gelombang. Dan dua kali frekuensi dari

gelombang fundamentalnya. Memang dalam tabung seragam yang terbuka di kedua ujungnya, frekuensi setiap overtone merupakan kelipatan integral dari frekuensi fundamentalnya.



Gambar 13.8 Pipa Organa Terbuka
Sumber: Giancoli, 2005

Pada pipa organa tertutup selalu ada simpul perpindahan pada ujung tertutup. Dan anti simpul di ujung terbuka. Karena jarak antara simpul dan anti simpul terdekat adalah $1/4\lambda$, kita melihat bahwa gelombang fundamental dalam tabung tertutup sesuai dengan hanya seperempat dari panjang gelombang sepanjang tabung $l = \frac{\lambda}{4}$ dan $\lambda = 4l$. Jika frekuensi fundamental menjadi $f_1 = v/4l$ atau setengah daripada pipa terbuka yang sama panjang. Ada perbedaan lain, hanya harmonik ganjil yang hadir dalam tabung tertutup : overtone nya memiliki frekuensi sama dengan 3, 5, 7,... kali frekuensi fundamentalnya. Tidak ada cara lain bagi gelombang dengan 2,4,6... kali frekuensi fundamental untuk memiliki simpul di salah satu ujung dan anti simpul pada ujung yang lain.



Gambar 13.9 Pipa Organa Tertutup
Sumber: Giancoli, 2005

Aspek kedua dari gelombang adalah medium rambat. Sebagai gelombang mekanik bunyi membutuhkan medium untuk merambat. Rambatan bunyi itu sendiri membutuhkan medium perambatan. Medium perambatan bunyi mempengaruhi cepat rambat gelombang bunyi.

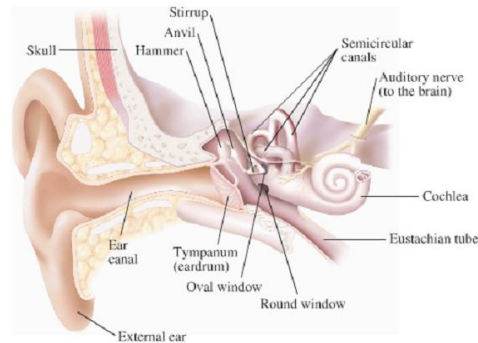
Cepat rambat bunyi pada berbagai medium ditampilkan pada tabel di atas. Cepat rambat bunyi berbeda pada setiap medium. Selain tergantung pada medium, cepat rambat bunyi juga dipengaruhi suhu dan tekanan. Sebagai contoh bunyi merambat dengan kecepatan 331 m/s di udara pada 0°C pada tekanan 1 atm. Pada udara cepat rambat bunyi pada berbagai suhu pada tekanan 1 atm dituliskan dalam sebuah persamaan dibawah ini:

$$v \approx (331 + 0,60T)m/s$$

Dimana T adalah suhu dalam $^{\circ}\text{C}$. Sebagai contoh jika suhu 20°C maka besar cepat rambat bunyi adalah $v = (331 + 0,60 \times 20)m/s = 343 m/s$.

Aspek yang ketiga dari bunyi adalah detektor bunyi dalam hal ini telinga dan mikrofon. Telinga manusia merupakan detektor bunyi yang sangat sensitif. Fungsi telinga adalah mengubah energi getaran gelombang menjadi sinyal listrik yang dibawa ke otak melalui saraf. Cara kerja mikrofon juga demikian. Gelombang bunyi menumbuk diafragma mikrofon sehingga menyebabkan bergetar, getaran tersebut diubah menjadi sinyal listrik dengan frekuensi yang sama.

Telinga terdiri dari tiga bagian utama : telinga luar, telinga tengah dan telinga dalam. Ditelinga luar, gelombang bunyi dari luar berjalan menyusuri kanal telinga ke gendang telinga, yang bergetar menanggapi gelombang yang menyimpannya. Itu. Telinga tengah terdiri dari tiga tulang kecil yang dikenal sebagai tulang martil, landasan, dan sanggurdi. Yang mentransfer getaran dari gendang telinga ke telinga bagian dalam pada jendela oval. Sistem tuas yang halus ini ditambah dengan yang luas yang relatif besar dari gendang telinga dibandingkan dengan luas jendela oval, menghasilkan penguatan tekanan dengan faktor 20. Telinga bagian dalam terdiri dari kanal-kanal semisirkularis, yang penting untuk mengendalikan keseimbangan dan koklea yang berisi cairan dimana energi getaran gelombang bunyi diubah menjadi energi listrik dan dikirim ke otak.



Gambar 13.10 Telinga
Sumber: Giancoli, 2005

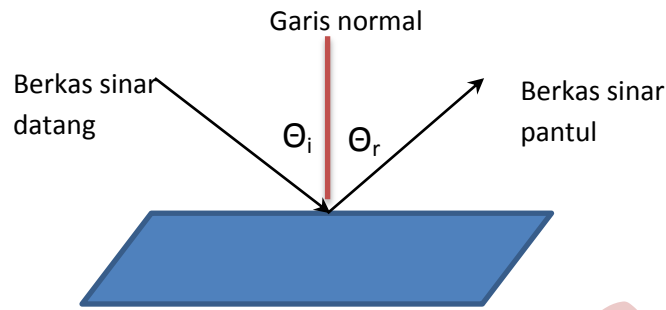
D. Optik

Pernahkah Anda memperhatikan penampilan Anda di depan sebuah cermin? Tentu jawabannya pernah atau malah sering. Penampilan bagi sebagian orang merupakan hal yang sangat penting dan mendukung kepercayaan diri seseorang. Untuk meyakinkan diri bahwa penampilan sudah sesuai harapan, tentu kita membutuhkan alat yang disebut cermin. Dengan cermin kita dapat melihat diri sendiri. Mungkin Anda juga pernah memperhatikan sedotan yang terlihat patah ketika disimpan di dalam kaca tembus pandang. Sedotan terlihat patah tepat pada bidang batas air/bawah permukaan air. Ini juga merupakan sifat pembentukan bayangan pada cahaya. Bagaimana pembentukan bayangan benda pada cermin? Bagaimana sedotan bisa terlihat patah? Jawabannya akan dibahas secara lengkap berikut ini.

1. Optik Geometri

a. Hukum Pemantulan

Satu berkas cahaya menimpa permukaan rata (sudut datang θ_i) pada sudut antara berkas sinar datang dan garis normal (tegak lurus) dan sudut pantul θ_r , sebagai sudut yang terbentuk dari berkas sinar pantul dengan garis normal (lihat Gambar 13.11). Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal terletak pada satu bidang. Sudut datang sama dengan sudut pantul. ini dikenal dengan hukum pemantulan.



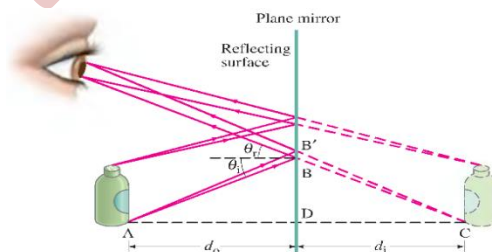
Gambar

13.11 Pemantulan cahaya

b. Pemantulan pada cermin datar

Cermin datar adalah cermin dengan permukaan pemantul yang datar dan halus. Pada Gambar 13.12 berikut, kita memandang cermin dari samping dan berkas-berkas cahaya yang digambarkan terpantul dari permukaan depan. Berkas cahaya meninggalkan dua titik yaitu tutup dan dasar botol. Berkas-berkas cahaya meninggalkan setiap titik pada benda dengan berbagai arah tetapi hanya yang mencapai mata saja yang digambarkan. Berkas-berkas simpangan yang memasuki mata tampak datang dari satu titik di belakang cermin yang disebut titik bayangan. Jarak antara botol dengan cermin disebut jarak benda sedangkan jarak antara bayangan botol dengan cermin adalah jarak bayangan.

Berkas-berkas cahaya sebenarnya tidak melewati lokasi bayangan itu sendiri. Oleh karena itu dalam pembentukan bayangan cermin datar garis-garis yang terdapat di belakang cermin digambarkan garis putus-putus. Bayangan tersebut disebut dengan bayangan maya. Disebut maya karena jika Anda meletakkan layar di belakang cermin, tidak akan ada bayangan yang terbentuk.



Gambar 13.12 Pembentukan bayangan pada cermin datar

c. Pembiasan dan Hukum Snellius

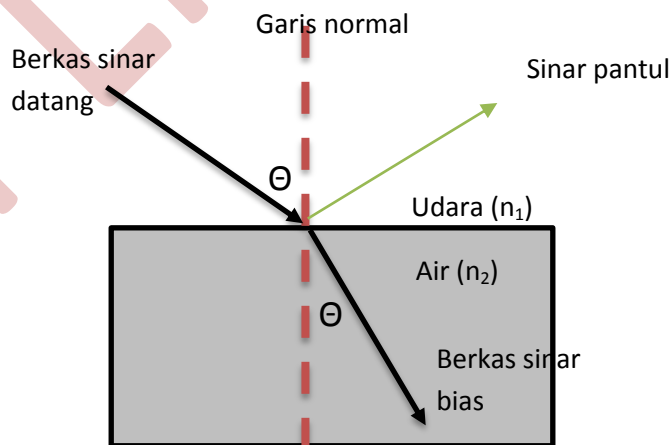
Ketika cahaya melintas pada suatu medium tembus pandang yang berbeda indeks biasnya misalnya air atau kaca, maka sebagian cahaya akan diteruskan dan sebagian lagi dipantulkan. Pembelokan sinar ketika melewati medium dengan indeks bias yang berbeda disebut dengan pembiasan.

Sebelum masuk pada lebih jauh pada materi pembiasan terlebih dahulu dibahas mengenai indeks bias. Indeks bias diperoleh karena adanya pengurangan laju kecepatan cahaya dari udara ketika memasuki sebuah medium seperti kaca air. Laju cahaya akan lebih lambat pada medium transparent dibandingkan di udara atau ruang hampa udara. Misalnya laju cahaya pada air kira-kira $\frac{3}{4}$ laju cahaya pada udara/vakum atau $\frac{3}{4} c$. c adalah kecepatan cahaya yaitu 3×10^8 m/s. perbandingan antara laju cahaya di ruang vakum dengan laju cahaya pada medium tertentu disebut indeks bias atau Secara matematis indeks bias (n) ditulis sebagai berikut.

$$n = \frac{c}{v} \dots\dots\dots (13-1)$$

Nilai indeks bias tidak pernah kurang dari 1. Sebagai contoh indeks bias cahaya di air yaitu $n = 1,33$.

Gambar 13.13 Menunjukkan seberkas cahaya yang merambat dari udara ke air. Sudut θ_1 adalah sudut datang yaitu sudut antara sinar datang dengan garis normal. Sudut θ_2 adalah sudut bias yaitu sudut antara sinar bias dengan garis normal.



Gambar 13.13 Pembiasan cahaya ($n_2 > n_1$)

Pada gambar terlihat bahwa berkas sinar yang datang dari medium udara ke medium air dibiaskan mendekati garis normal. Hal ini terkait dengan laju cahaya yang berkurang. Hal inilah yang menyebabkan mengapa sedotan yang disimpan pada air dalam gelas terlihat patah.

Hukum Snellius

Sudut bias bergantung pada laju atau kecepatan cahaya dan pada sudut datangnya. Hubungan ini dikenal dengan hukum Snellius yang dituliskan secara matematis sebagai berikut.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \dots\dots\dots (13-2)$$

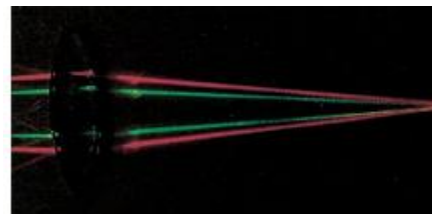
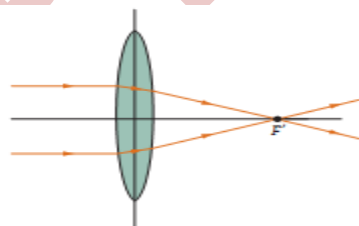
n_1 adalah indeks bias medium sinar datang dan n_2 adalah indeks bias medium sinar bias

d. Lensa Tipis

Alat optik yang paling umum digunakan selain cermin adalah lensa. Anda tentu sering melihat seseorang menggunakan kacamata baik yang memiliki gangguan mata maupun tidak. Jenis lensa yang digunakan pada kacamata beraneka ragam sesuai dengan kebutuhan. Ada kacamata yang menggunakan lensa konvergen dan ada juga yang menggunakan lensa divergen. Masing-masing jenis lensa memiliki sifat-sifat pembentukan bayangannya.

1) Sifat-sifat dan pembentukan bayangan pada lensa konvergen

Sebuah lensa mempunyai sifat bahwa bila seberkas sinar yang paralel/sejajar dengan sumbu utama melalui lensa tersebut, maka berkas tersebut berkumpul ke sebuah titik fokus dan membentuk sebuah bayangan nyata di titik tersebut. Sifat ini dimiliki oleh lensa konvergen yang sifatnya mengumpulkan berkas cahaya.



Gambar 13.14 Lensa konvergen yang sifatnya mengumpulkan sinar
Sumber: Tipler, & Mosca, 2008

Untuk menghasilkan api pada suatu keadaan dimana tidak ada korek api dan semacamnya, kita bisa menggunakan lensa konvergen untuk menghasilkan api. Karena sifatnya yang mengumpulkan sinar matahari yang masuk ke lensa akan di fokusnya pada satu titik. Titik inilah yang disebut dengan titik fokus. Jarak titik fokus terhadap lensa disebut jarak fokus.



Gambar 13.15 Lensa Konvergen digunakan untuk menghasilkan api
Sumber: Halliday & Resnick, 2011

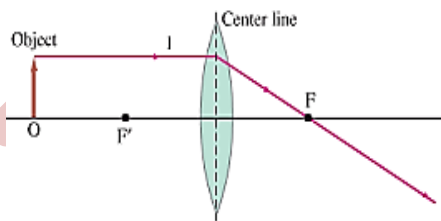
Para ahli optometri dan ophthalmologi tidak menggunakan jarak fokus untuk menentukan kekuatan lensa kacamata melainkan kebalikan dari jarak fokus yang disebut daya lensa (P).

$$P = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(13-3)$$

Satuan daya lensa adalah Dioptri yaitu kebalikan dari meter. $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$. Sebagai contoh lensa yang memiliki jarak fokus 20 cm memiliki daya lensa sebesar 5,0 D.

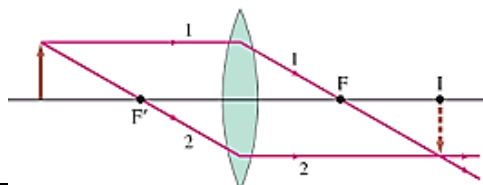
Pada lensa konvergen ada tiga aturan penggambaran bayangan yang harus diketahui yaitu sebagai berikut

- a) Berkas 1 datang dari benda sejajar sumbu utama kemudian dibiaskan melalui titik fokus di belakang lensa.



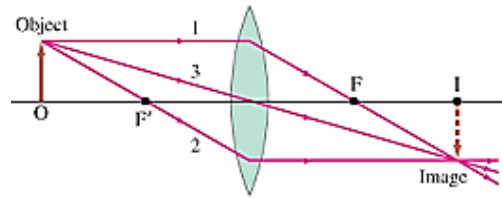
Gambar 13.16 Pembiasan berkas 1

- b) Berkas 2 datang melalui titik fokus di depan lensa dibiaskan sejajar sumbu utama di belakang lensa.



Gambar 13.17 Pembiasan berkas 2

- c) Berkas 3 merambat lurus melalui pusat lensa dan dibiaskan kembali.



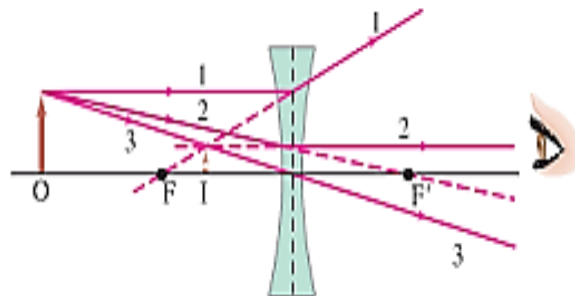
Gambar 13.18 Pembiasan berkas 3

Titik pertemuan antara 3 berkas sinar adalah titik pembentukan bayangan. Pada dasarnya untuk menggambarkan pembentukan bayangan cukup menggunakan dua dari tiga berkas tersebut. Bayangan yang terbentuk dari pembiasan sinar lensa konvergen adalah nyata.

- 2) Sifat-sifat dan pembentukan bayangan pada lensa divergen

Lensa yang bagian tengahnya lebih tipis dari pada bagian tepinya adalah lensa divergen. Sifat dari lensa ini adalah menyebarkan sinar dan bayangan yang terbentuk adalah maya. Berikut tiga berkas pembentukan bayangan pada lensa divergen (lihat Gambar 13.19).

- a) Berkas 1 yang datang dari benda sejajar sumbu utama, dibiaskan seolah-olah datang dari titik fokus di depan lensa (garis putus-putus).
- b) Berkas 2 datang seolah-olah menuju titik fokus di belakang lensa dibiaskan sejajar sumbu utama.
- c) Berkas 3 menuju pusat lensa.

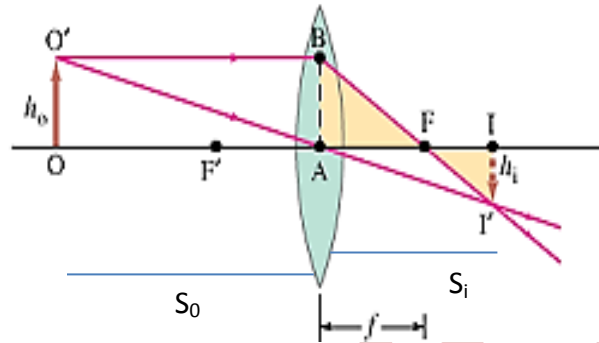


Gambar 13.19 Pembentukan bayangan pada lensa divergen

Sumber: Giancoli, 2009

3) Persamaan Lensa Tipis

Persamaan lensa tipis diperoleh dengan menghubungkan jarak bayangan dengan jarak benda dan panjang fokus lensa tipis tersebut.



Gambar 13.20 Penurunan persamaan lensa tipis
Sumber: Giancoli, 2009

Hubungan antara tinggi benda dengan jarak benda adalah berbanding lurus.

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{s_i}{s_o} \dots\dots\dots(13-4)$$

Karena segitiga FI'I dan FBA sama sehingga dipeoleh persamaan berikut:

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{s_i - f}{f} \dots\dots\dots(13.5)$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan tersebut maka dipeoleh persamaan lensa tipis yaitu sebagai berikut

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(13-6)$$

Untuk lensa divergen f bernilai negatif dan s_i bernilai negatif jika bayangannya maya.

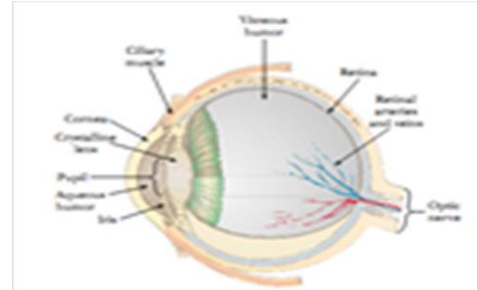
Perbesaran bayangan pada lensa tipis dipeoleh dengan membandingkan tinggi bayangan terhadap tinggi benda. Untuk bayangan tegak, perbesaran bernilai positif dan untuk bayangan terbalik bernilai negatif.

$$m = \frac{h_i}{h_o} \dots\dots\dots (13-7)$$

2. Alat-alat Optik

a. Mata

Salah satu alat optik yang paling alamiah adalah mata (Lihat Gambar 13.21). Di dalam mata terdapat lensa mata yang berfungsi mengatur pembiasan yang disebabkan oleh cairan di depan lensa (*aqueous humor*). Bagian dalam mata mengandung zat berbentuk gel transparan yang disebut *vitreous humor* dengan indeks bias $n = 1,337$. Diafragma yang



Gambar 13.21 Bagian-bagian mata
Sumber: Halliday & Resnick, 2009

disebut iris menyesuaikan secara otomatis untuk mengendalikan banyaknya cahaya yang memasuki mata. Intensitas cahaya yang masuk ke mata diatur oleh pupil. Retina berfungsi sebagai film atau sensor.

Cahaya yang masuk ke mata difokuskan oleh lensa mata ke retina. Bentuk bayangan benda yang jatuh di retina seakan-akan direkam dan disampaikan ke otak melalui saraf optik. Bayangan inilah yang sampai ke otak dan memberikan kesan melihat benda kepada mata. Jadi, mata dapat melihat benda dengan jelas apabila bayangan benda (bayangan nyata) terbentuk tepat di retina.

Jarak terdekat yang dapat difokuskan mata disebut titik dekat mata (*Punctum Proximum/PP*). Jarak baca normal atau titik dekat mata adalah sekitar 25 cm meskipun untuk mata anak-anak masih bias memfokuskan mata sedekat 10 cm. Semakin tua kemampuan akomodasi mata semakin berkurang. Sedangkan jarak terjauh dimana benda masih dapat terlihat jelas disebut titik jauh mata (*Punctum Remotum/PR*). Jarak titik jauh mata normal adalah di titik tak hingga (∞). Mata yang jangkauan penglihatan tidak terletak diantara titik dekat 25 cm dan titik jauh tak hingga disebut cacat mata atau *aberasi*. Cacat mata ini dapat diperbaiki dengan lensa baik menggunakan kacamata atau lensa kontak.

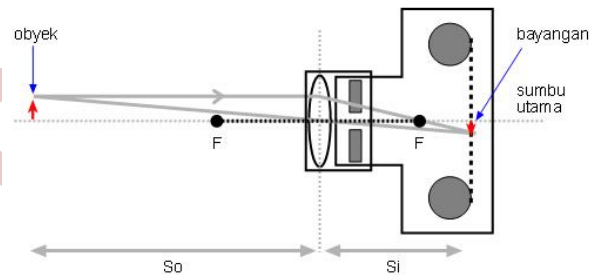
b. Kamera

Elemen dasar kamera sederhana terdiri atas lensa positif, bukaan lensa (*celah diafragma*), diafragma, shutter yang dapat dibuka untuk waktu singkat yang dapat divariasikan, dan film.



Gambar 13.22 Kamera
Sumber: Giancoli, 2009

Ketika diafragma dibuka, cahaya yang melewati benda masuk melalui *aperture* (celah diafragma) menuju lensa. Intensitas cahaya yang masuk ke dalam kamera menentukan ketajaman foto yang dihasilkan. Apabila cahaya terlalu terang, *aperture* dibuka kecil. Sebaliknya jika cahaya redup, *aperture* dibuka lebar. Kemudian lensa akan membentuk bayangan benda, agar bayangan benda jatuh tepat pada film dengan jelas maka letak lensa harus digeser-geser mendekati atau menjauhi film. Menggeser-geser lensa pada kamera, seperti mengatur jarak fokus lensa pada mata (akomodasi). Bayangan yang terbentuk pada film bersifat nyata, terbalik, diperkecil seperti yang terlihat pada Gambar 13.23.



Gambar 13.23 Kamera
Sumber: kaिता91.wordpress.com

Fokus kamera diatur dengan menggerakkan lensa atau mengubah kedudukan lensa ke benda, sesuai dengan jarak benda yang akan difoto. Pada kamera sederhana untuk mengubah jarak lensa ke benda, harus mendekati atau menjauhi benda sampai didapatkan bayangan yang jelas. Hal ini berbeda dengan lensa modern, untuk mendapatkan bayangan yang jelas cukup dengan memutar cincin pengatur lensa atau *range finder*.

Ada tiga penyetelan utama pada kamera dengan kualitas yang baik yaitu kecepatan *shutter*, bilangan-*f*, dan pemfokusan. Jumlah cahaya yang masuk ke film dapat dikendalikan dengan mengubah waktu pembukaan *shutter*. Untuk jenis film tertentu, terdapat jumlah

optimum cahaya yang akan memberikan gambar dengan kontras yang bagus. Jumlah cahaya untuk kontras yang sesuai dikaitkan dengan “kecepatan” film, yang dinilai dengan bilangan ASA. Semakin tinggi bilangan ASA filmnya, semakin cepat film tersebut dan semakin sedikit jumlah cahaya yang dibutuhkan. Kelajuan *shutter* pada kamera yang bagus sering dapat diubah dari pemberian cahaya beberapa detik untuk fotografi cahaya-redup hingga 1/1000 untuk fotografi gerakan-tinggi. Untuk menghindari pengkaburan karena gerak kamera, laju yang lebih cepat dibutuhkan untuk “menghentikan” gerak tersebut.

Ukuran maksimum bukaan dibatasi oleh ukuran lensa, yang selanjutnya dibatasi oleh aberasi lensa. Aberasi lensa adalah semua sinar dari sebuah objek titik yang tidak difokuskan pada sebuah titik bayangan tunggal, maka akan menghasilkan bayangan buram. Ukuran bukaan ini diberikan oleh bilangan-*f*, yang berupa pertimbangan panjang fokus (*f*) terhadap diameter bukaan (*D*) :

$$\text{bilangan } - f = \frac{f}{D} \dots\dots\dots (13-8)$$

Pemfokusan adalah peletakan lensa pada posisi yang benar relatif terhadap film untuk mendapatkan bayangan yang paling tajam. Untuk benda yang lebih dekat, jarak bayangan lebih besar dari panjang fokus, sebagaimana terlihat pada persamaan lensa, berikut ini:

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

Selain kamera konvensional di atas, terdapat kamera yang lebih mudah penggunaannya yakni kamera digital. Kamera digital adalah alat untuk membuat gambar dari obyek untuk selanjutnya dibiarkan melalui lensa kepada sensor CCD (ada juga yang menggunakan sensor CMOS) yang hasilnya kemudian direkam dalam format digital ke dalam media simpan digital. CCD (*Charged Coupled Device*) dan CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) adalah sensor penangkap gambar yang terdiri dari jutaan piksel lebih. Sensor ini berbentuk *chip* yang terletak tepat di belakang lensa. Semakin banyak pixel yang ditangkap, semakin detail gambar yang dihasilkan.

c. Kaca pembesar (Lup)

Ukuran benda dapat diperbesar dengan menggunakan lensa positif untuk memungkinkan benda lebih dekat ke mata, dengan demikian dapat memperbesar ukuran

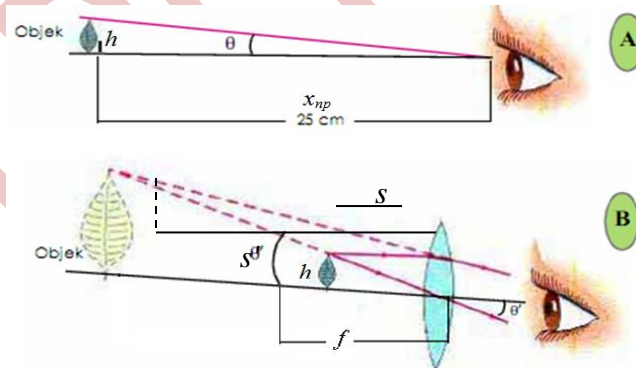
bayangan pada retina. Lensa positif tersebut disebut dengan kaca pembesar (lup). Bayangan yang dibentuk oleh lup bersifat maya, tegak, dan diperbesar. Untuk mendapatkan bayangan semacam ini benda harus berada di depan lensa dan terletak diantara titik pusat (O) dan titik fokus (f) lensa.

Pada Gambar 13.24.A, suatu benda kecil yang tingginya h berada pada titik fokus lensanya. Sinar yang datang dari lensa akan sejajar, yang menghasilkan bayangan pada jarak takhingga di depan lensa. Sinar sejajar difokuskan oleh mata yang rileks pada retina. Jika lensanya kontak dengan mata, sudut yang dibentuk adalah

$$\theta = \frac{h}{x_{np}} \quad \dots\dots\dots(13-9)$$

Pada Gambar 13.24.B, Lensa positif dengan panjang fokus f , yang kurang dari x_{np} , diletakkan di depan mata, dan bendanya diletakkan di titik fokus lensanya. Sinar yang keluar dari lensa akan sejajar, yang menghasilkan bayangan di suatu tempat takterhingga di depan lensa. Sinar sejajar difokuskan oleh mata yang rileks di retina. Jika lensa dekat dengan mata, sudut yang dibentuk adalah

$$\theta' = \frac{h}{f} \quad \dots\dots\dots(14-10)$$



Gambar 13.24 Daun dilihat (A) dengan mata tanpa bantuan, dengan mata terfokus pada titik dekatnya, dan (B) melalui kaca pembesar.
 Sumber. Giancoli, 2009

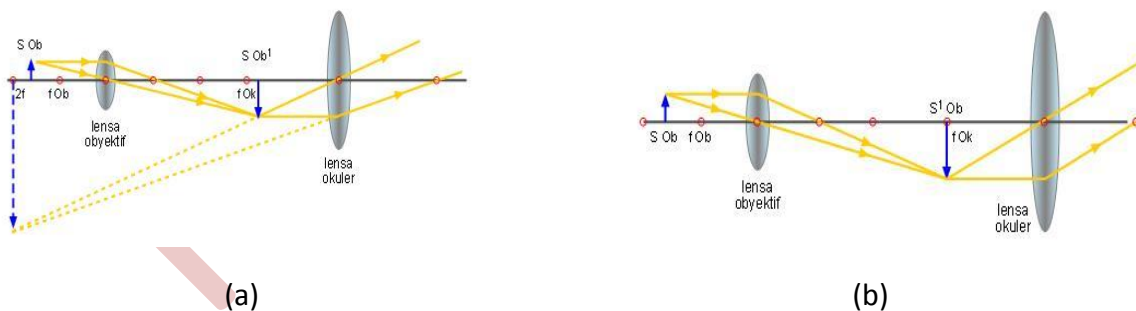
Perbandingan $\frac{\theta}{\theta'}$ disebut perbesaran sudut atau kekuatan perbesaran lensa M tersebut adalah

$$M = \frac{\theta}{\theta'} = \frac{x_{np}}{f} \dots\dots\dots (13-11)$$

d. Mikroskop

Mikroskop digunakan untuk melihat benda-benda yang sangat kecil pada jarak dekat. Mikroskop terdiri atas dua buah lensa positif. Lensa yang terletak dekat dengan benda disebut lensa objektif, membentuk bayangan nyata, terbalik, dan diperbesar. Lensa yang terletak dekat mata disebut lensa okuler, digunakan sebagai kaca pembesar untuk melihat bayangan yang dibentuk oleh objektifnya, sehingga memungkinkan benda dapat dibawa lebih dekat ke mata hingga lebih dekat dari titik dekat mata.

Pada mikroskop benda yang diamati diletakkan di depan lensa objektif di antara titik fokus okuler (f_{ob}) dan $2f_{ob}$. Bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif akan menjadi benda bagi lensa okuler. Bila diamati dengan mata berakomodasi (benda terletak dekat dengan titik dekat mata), maka benda (bayangan dari lensa objektif) terletak di antara titik pusat lensa okuler (O_{ok}) dan titik fokus okuler (f_{ok}). Sedangkan jika diamati dengan mata tanpa berakomodasi (benda terletak jauh dari titik dekat mata), maka benda (bayangan dari lensa objektif) terletak di titik fokus lensa okuler (f_{ok}). Bayangan akhir yang dihasilkan kedua lensa tersebut adalah maya, terbalik, diperbesar. Ilustrasi pembentukan bayangan pada mikroskop ditunjukkan pada Gambar 13.25.



Gambar 13.25 Diagram pembentukan bayangan pada mikroskop: Ketika benda di dekatkan dengan titik dekat mata; b. ketika benda dijauhkan dengan titik dekat mata
 Sumber: <http://banksoalfisika.blogspot.com>

Perbesaran yang dihasilkan mikroskop adalah gabungan dari perbesaran lensa objektif dan perbesaran lensa okuler. Perbesaran lensa objektif mikroskop adalah

$$M_{ob} = \frac{-s'_{ob}}{s_{ob}} \dots\dots\dots (13-12)$$

dimana M_{ob} adalah perbesaran lensa objektif, s'_{ob} adalah jarak bayangan lensa objektif dan s_{ob} adalah jarak objek di depan lensa objektif.

Adapun perbesaran lensa okuler mikroskop sama dengan perbesaran lup, untuk mata berakomodasi maksimum ketika lensa berada dekat titik dekat mata:

$$M_{ok} = \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \dots\dots\dots (13-13)$$

Sedangkan perbesaran lensa okuler mikroskop untuk mata tidak berakomodasi ketika lensa berada jauh dengan titik dekat mata:

$$M_{ok} = \frac{S_n}{f_{ok}} \dots\dots\dots(13-14)$$

dimana M_{ok} adalah perbesaran lensa okuler, s_n adalah jarak titik dekat mata (untuk mata normal $S_n = 25$ cm), dan f_{ok} adalah jarak fokus lensa okuler.

Perbesaran total mikroskop adalah hasil kali perbesaran lensa objektif dan perbesaran lensa okuler. Jadi,

$$M = M_{ob} \times M_{ok} \dots\dots\dots (13-15)$$

Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler disebut panjang tabung (d). Panjang tabung sama dengan penjumlahan jarak bayangan yang dibentuk lensa objektif (s'_{ob}) dengan jarak benda (bayangan pertama) ke lensa okuler (s_{ok}).

$$d = s'_{ob} + s_{ok} \dots\dots\dots (13-16)$$

Contoh Soal 1

Tentukan posisi dan ukuran bayangan daun setinggi 7,6 cm yang diletakkan 1,0 m dari lensa kamera dengan fokus +50,0 mm!

Contoh Soal 2

Kedalaman Semu pada Kolam

Seorang perenang menjatuhkan kaca mata renangnya di dasar kolam yang dangkal dengan kedalaman 1,0 m. akan tetapi kaca mata tersebut tidak tampak sedalam yang sebenarnya. Berapa kedalaman kaca mata ketika Anda melihat langsung ke dalam air?

Contoh Soal 3

Sebuah gelombang berjalan memiliki persamaan $y = 0,02 \sin \pi(50t + x)$ m. dari persamaan gelombang tersebut, tentukan:

- Arah perambatan gelombang
- Frekuensi gelombang
- Panjang gelombang
- Cepat rambat gelombang

REFERENSI

- Ewen, D., Schurter, N., & Gundersen, P. E. *Aplied Physics* (12 th ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Feather, R. M., McLaughlin, C.W., Thompson, M., & Zike, D. (2009). *Physical Sciece with Earth Science*. Colombus: McGraw-Hill.
- Giancoli, D. C. (2005). *Physiscs: Principles with Applications* (6 th ed.). London: Person Education.
- Giancoli, D. 2009. *Physics for Scientists and Engineers with modern physics*. Pearson Prentice Hall. USA.
- Giancoli, D. 2014. *FISIKA (Prinsip dan aplikasi) Edisi ke 7 Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Resnick and Halliday, 2008. *Physics*. John Willey & Sons. USA.
- Serwett & Jerwey. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. Thomson Brooks/Cole. USA.
- Shipman, J.T., Wilson, J. D., & Todd, A.W. (2009). *An Introduction to Physical Science* (12 th ed.) Boston: Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for scientists and Engineers* (6 th ed.). (C. Marshall, Ed.) New York: Susan Finnemore Brennan.
- Young, Freedman dkk. 2003. *Fisika Universita Edisi Kesepuluh Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.