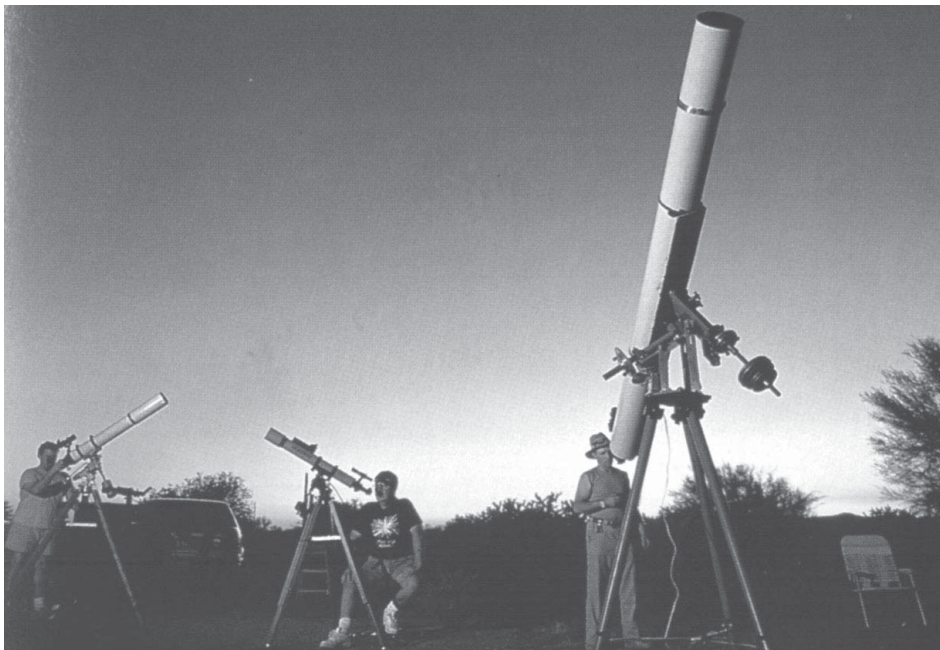


BAB

5

ALAT-ALAT OPTIK



- Teleskop bintang untuk mengamati benda-benda di langit.

Sumber: *Ensiklopedia Iptek*, PT Lentera Abadi, 2005

Kalian tentu sering melihat bintang-bintang di langit. Bintang-bintang itu tampak kecil sekali karena letaknya jauh dari kita. Untuk melihat bintang dengan jelas maka diperlukan sebuah teleskop bintang. Bagaimana teleskop dapat digunakan untuk melihat benda-benda yang jaraknya jauh? Hal ini karena ada komponen alat-alat optik dalam teleskop yang berfungsi memperbesar benda. Nah, tahukah kalian alat-alat lain yang cara kerjanya seperti prinsip teleskop?

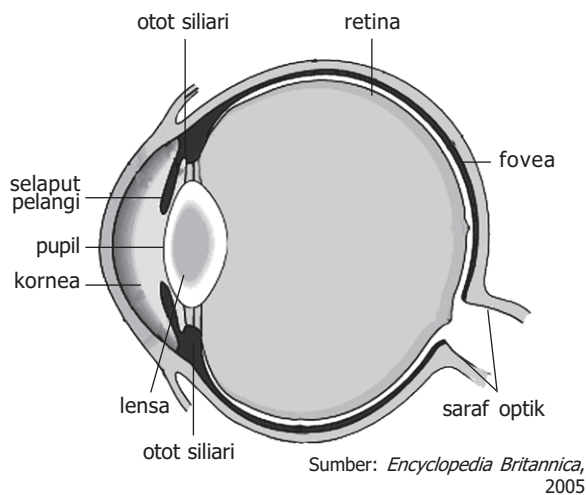
Kata Kunci

kamera, lensa, lup, mata, mikroskop, teleskop

Ketika di SMP, kalian sudah mempelajari tentang cahaya dan perambatannya, bagaimana cahaya itu dipantulkan, dibiaskan, dan mengalami dispersi. Pada bab ini akan dipelajari berbagai alat yang bekerja berdasarkan prinsip pembiasan dan pemantulan cahaya yang disebut *alat optik*. Dengan alat optik, kita dapat melihat benda atau makhluk hidup yang ukurannya sangat kecil, misalnya bakteri dan virus, dan dapat melihat dengan jelas benda-benda yang sangat jauh di luar angkasa seperti bulan, bintang, dan benda langit lainnya, serta merekam beberapa kejadian penting dalam bentuk film. Bagian utama dari alat optik adalah cermin atau lensa, karena prinsip kerjanya mengacu pada konsep pembiasan dan pemantulan cahaya.



A. Mata Manusia



Sumber: *Encyclopedia Britannica*, 2005

Gambar 5.1 Diagram mata manusia.

Mata merupakan indra penglihatan dan merupakan organ yang dapat menangkap perubahan dan perbedaan cahaya. Organ ini bekerja dengan cara menerima, memfokuskan, dan mentransmisikan cahaya melalui lensa untuk menghasilkan bayangan objek yang dilihatnya. Struktur dasar mata manusia tampak seperti pada Gambar 5.1.

Mata merupakan volume tertutup di mana cahaya masuk melalui lensa (lensa mata). **Diafragma** berfungsi untuk mengatur banyaknya cahaya yang masuk ke mata sehingga objek akan tampak jelas dan mata tidak silau. **Pupil** sebagai lubang pada diafragma merupakan tempat/jalan masuknya cahaya, sehingga tidak ada cahaya yang dipantulkan darinya karena ini merupakan lubang, dan sangat sedikit cahaya dipantulkan kembali dari bagian dalam mata. **Retina** berada pada permukaan belakang berfungsi sebagai tempat jatuhnya bayangan. Retina terdiri atas serangkaian saraf dan alat penerima (reseptor) yang rumit, dinamakan dengan **sel batang** dan **sel kerucut** yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi sinyal listrik yang berjalan di sepanjang serabut saraf. Rekonstruksi

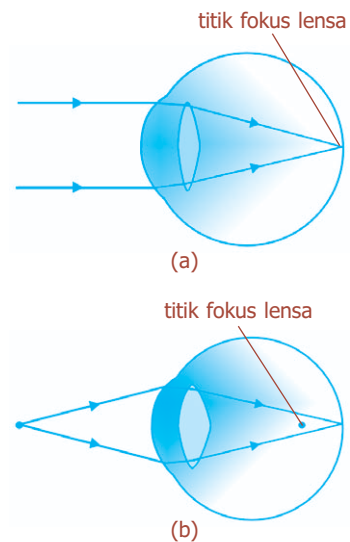
bayangan dari semua reseptor kecil ini terutama dilakukan di otak, walaupun beberapa analisis ternyata dilakukan pada jaringan hubungan saraf yang rumit pada retina itu sendiri. Di pusat retina ada daerah kecil yang disebut **fovea**, berdiameter sekitar 0,25 mm, di mana kerucut-kerucut tersusun rapat, bayangan paling tajam dan pemisahan warna paling baik ditemukan. Sistem saraf pada mata menganalisis sinyal untuk membentuk bayangan dengan kecepatan sekitar 30 per detik.

Lensa mata hanya sedikit membelokkan berkas cahaya. Umumnya pembiasan dilakukan di permukaan depan **kornea** (indeks bias = 1,376), yang juga berfungsi sebagai pelindung. Lensa mata berfungsi sebagai penyetel untuk pemfokusan pada jarak yang berbeda. Hal ini dilakukan oleh otot siliari yang mengubah kelengkungan lensa sehingga panjang fokusnya berubah, yang diilustrasikan seperti pada Gambar 5.1. Untuk pemfokusan pada benda jauh, otot akan rileks dan lensa memipih, sehingga berkas-berkas paralel terfokus pada titik fokus (retina), tampak seperti pada Gambar 5.2(a). Untuk pemfokusan pada benda dekat, otot berkontraksi, menyebabkan lensa mata memuncung sehingga jarak fokus menjadi lebih pendek, jadi bayangan benda yang dekat dapat difokuskan pada retina, di belakang titik fokus, tampak seperti pada Gambar 5.2(b). Kemampuan mata untuk memuncung atau memipihkan lensa mata ini disebut **daya akomodasi**.

1. Mata Normal (Emetrop)

Jarak terdekat yang dapat difokuskan mata disebut **titik dekat** mata ($PP = punctum proximum$). Untuk orang dewasa muda biasanya mempunyai titik dekat 25 cm, walaupun anak-anak sering kali bisa memfokuskan benda pada jarak 10 cm. Selanjutnya, semakin tua usia seseorang, kemampuan berakomodasi makin kurang dan titik dekat bertambah. Adapun jarak terjauh di mana benda masih dapat terlihat jelas disebut titik jauh ($PR = punctum remotum$). Untuk **mata normal** adalah mata yang memiliki titik dekat $PP = 25$ cm dan titik jauh $PR = tak$ berhingga. Gambar 5.2 menunjukkan daya akomodasi pada mata normal.

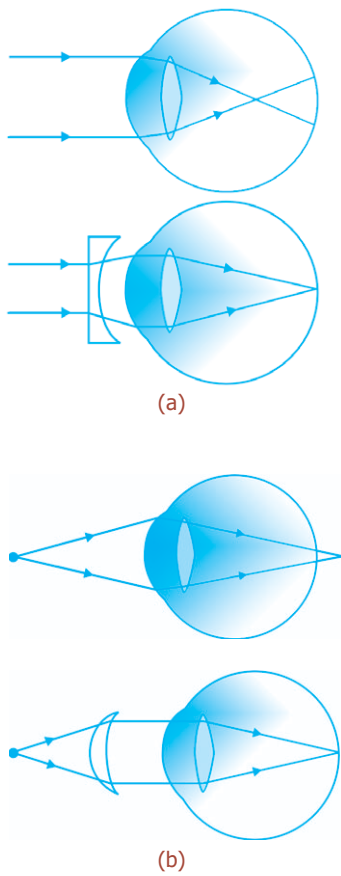
Mata “normal” lebih merupakan idealisasi daripada kenyataan. Sebagian besar populasi manusia memiliki mata yang tidak berakomodasi dalam kisaran normal yaitu 25 cm sampai tak berhingga, atau memiliki kelainan mata atau yang dikenal sebagai *cacat mata*.



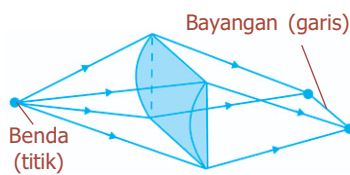
Gambar 5.2 Akomodasi oleh mata normal: (a) lensa rileks, terfokus pada jarak tak berhingga, (b) lensa menebal, terfokus pada benda dekat.

BETA^B Berita Fisika

Ketajaman mata seseorang salah satunya diukur dengan metode pengetesan menggunakan kartu Sneller, yaitu papan yang memiliki beberapa deret alfabet dengan ukuran yang bervariasi.



Gambar 5.3 Memperbaiki kelainan mata dengan lensa: (a) mata rabun jauh dibantu dengan lensa cekung, (b) mata rabun dekat dibantu dengan lensa cembung.



Gambar 5.4 Lensa silindris untuk mata astigmatisma.

Dua cacat mata yang umum adalah rabun jauh dan rabun dekat. Keduanya dapat ditolong dengan lensa, baik kacamata maupun lensa kontak.

2. Rabun Jauh (Miopi)

Mata miopi atau rabun jauh adalah mata yang hanya dapat memfokuskan benda pada jarak dekat. Titik jauh mata (PR) tidak berada pada tak berhingga tetapi jarak yang lebih dekat, sehingga benda jauh tidak terlihat jelas. Rabun jauh atau miopi biasanya disebabkan oleh lensa mata yang terlalu cembung, sehingga bayangan benda yang jauh terfokus (jatuh) di depan retina. Dengan menggunakan lensa divergen (cekung), dapat menyebabkan berkas sinar sejajar menyebar, sehingga memungkinkan berkas-berkas sinar biasanya terfokus pada retina, tampak seperti pada Gambar 5.3(a).

3. Rabun Dekat (Hipermetropi)

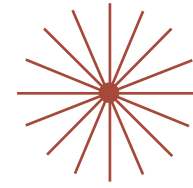
Hipermetropi atau rabun dekat adalah mata yang tidak dapat memfokuskan benda pada jarak dekat. Walaupun benda-benda jauh biasanya terlihat jelas, titik dekat (PP) agak lebih besar dari mata “normal” 25 cm, yang menyebabkan sulit membaca. Kelainan ini disebabkan lensa mata terlalu pipih sehingga bayangan benda yang dilihat terbentuk di belakang retina. Cacat mata ini dapat ditolong dengan lensa konvergen (cembung), tampak seperti pada Gambar 5.3(b).

Cacat mata yang sama dengan hipermetropi adalah *presbiopi*, yaitu mata yang tidak dapat melihat dengan jelas pada jarak yang jauh maupun jarak baca mata normal. Hal ini karena daya akomodasinya sudah lemah akibat bertambahnya usia. Mata tua dapat ditolong dengan kacamata bifokal (kacamata berfokus dua, yaitu positif dan negatif).

4. Astigmatisma

Astigmatisma biasanya disebabkan oleh kornea atau lensa yang kurang bundar sehingga benda titik difokuskan sebagai garis pendek, yang mengaburkan bayangan. Hal ini dikarenakan kornea berbentuk sferis dengan bagian silindrisnya bertumpuk. Pada Gambar 5.4 menunjukkan lensa silindris memfokuskan titik menjadi garis yang paralel dengan sumbunya. Mata astigmatisma memfokuskan berkas pada bidang vertikal, katakanlah pada jarak yang lebih dekat dengan yang dilakukannya untuk berkas pada bidang horizontal. Astigmatisma dapat ditolong dengan menggunakan lensa silindris yang mengimbanginya.

Lensa untuk mata yang rabun jauh atau rabun dekat serta astigmatisme dibuat dengan permukaan sferis dan silindris yang bertumpuk, sehingga radius kelengkungan lensa korektif berbeda pada bidang yang berbeda. Astigmatisme diuji dengan melihat dengan satu mata pada pola seperti pada Gambar 5.5. Garis yang terfokus tajam tampak gelap, sementara yang tidak terfokus tampak lebih kabur atau abu-abu.



Gambar 5.5 Pengujian untuk mata astigmatisme.

Percikan Fisika



Buta Warna

Pola bintang-bintang di samping berguna untuk menguji buta warna, yaitu suatu ketidakmampuan mata untuk membedakan warna-warna. Orang yang buta warna mengalami kekurangan salah satu tipe sel kerucut (sensor warna), untuk mendeteksi warna merah, hijau, atau biru. Gejala buta warna yang paling umum adalah buta warna hijau merah, yaitu ketidakmampuan untuk membedakan kedua warna tersebut. Jika dapat melihat angka-angka dua puluh enam, delapan, dan tujuh puluh empat di dalam pola di samping, berarti kalian tidak buta warna. Buta warna lebih banyak dijumpai pada pria dibandingkan pada wanita.



B. Lup (Kaca Pembesar)

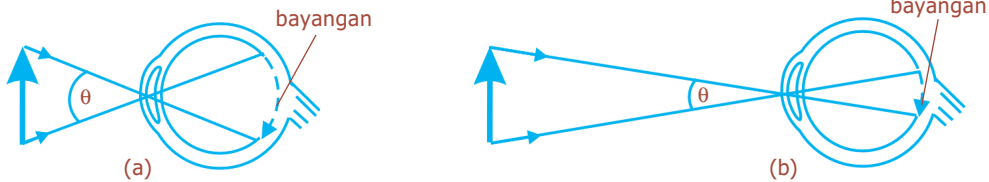
Lup atau kaca pembesar sebenarnya merupakan lensa, tampak seperti pada Gambar 5.6. Seberapa besar benda akan tampak, dan seberapa banyak detail yang bisa kita lihat padanya, bergantung pada ukuran bayangan yang dibuatnya pada retina. Hal ini, sebaliknya bergantung pada sudut yang dibentuk oleh benda pada mata. Contohnya, sebatang lidi dipegang secara vertikal pada jarak 30 cm dari mata, tampak dua kali lebih tinggi dibandingkan jika dipegang pada jarak 60 cm,



Sumber: *Jendela Iptek Cahaya*, PT Balai Pustaka, 2000

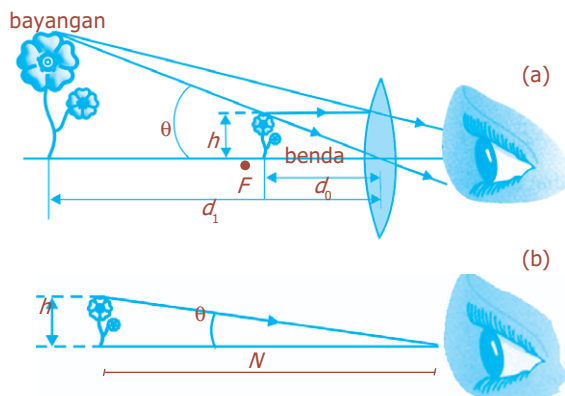
Gambar 5.6 Kaca pembesar dan bayangan yang dibuatnya.

karena sudut yang dibuatnya dua kali lebih besar, tampak seperti pada Gambar 5.7. Ketika kita ingin meneliti detail sebuah benda, kita mendekatkannya ke mata sehingga benda tersebut membentuk sudut yang lebih besar. Bagaimanapun, mata kita hanya bisa mengakomodasi sampai suatu titik tertentu saja (titik dekat), dan kita akan menganggap jarak standar 25 cm sebagai titik dekat mata.



Gambar 5.7 Sudut pandang dengan lup, bayangan (a) menjadi lebih tinggi daripada bayangan (b).

Sebuah kaca pembesar (lup) memungkinkan kita untuk meletakkan benda lebih dekat ke mata kita sehingga membentuk sudut yang lebih besar. Pada Gambar 5.8, memperlihatkan sebuah benda diletakkan pada titik fokus atau di sebelah dalamnya. Kemudian lensa konvergen membentuk bayangan maya, minimal berada 25 cm dari mata, agar mata terfokus padanya. Jika mata rileks, bayangan akan berada pada tak berhingga, dan dalam hal ini benda tepat berada pada titik fokus.



Gambar 5.8 (a) Bunga dilihat melalui lup, (b) mata tanpa lup.

1. Pemakaian Lup dengan Mata Tak Berakomodasi

Sebuah perbandingan bagian (a) dari Gambar 5.8 dengan bagian (b), di mana benda yang sama dilihat pada titik dekat dengan mata tanpa bantuan, menunjukkan bahwa sudut yang dibuat benda pada mata jauh lebih besar ketika menggunakan kaca pembesar (lup). Perbesaran anguler atau daya perbesaran, M , dari lensa didefinisikan sebagai perbandingan sudut yang dibentuk oleh benda ketika menggunakan lensa, dengan sudut yang dibentuk ketika

mata tanpa bantuan lensa, dengan benda pada titik dekat PP dari mata ($PP = 25$ cm untuk mata normal) dirumuskan:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} \dots\dots\dots (5.1)$$

Di mana θ dan θ' ditunjukkan pada Gambar 5.8. Kita juga dapat menuliskan perbesaran anguler, M , dalam panjang fokus dengan melihat bahwa:

$$\theta = \frac{b}{PP} \text{ dan } \theta' = \frac{b}{s}$$

Di mana b adalah tinggi benda dan kita anggap sudut-sudut kecil sehingga θ dan θ' sama dengan sinus dan tangennya. Jika mata rileks (untuk ketegangan mata paling kecil), bayangan akan berada pada tak berhingga dan benda akan tepat pada titik fokus, perhatikan Gambar 5.9,

$$\text{kemudian } s = f \text{ dan } \theta' = \frac{b}{f}.$$

Dengan demikian didapatkan:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{b}{f}}{\frac{b}{PP}}$$

$$M = \frac{PP}{f} \quad (5.2)$$

(mata terfokus pada ∞ ; $PP = 25$ cm untuk mata normal)

Dari persamaan (5.2), tampak bahwa makin pendek panjang fokus lensa (f), makin besar perbesarannya. Bagaimanapun juga, perbesaran lensa tunggal sederhana terbatas sampai sekitar dua atau tiga kali karena adanya distorsi yang disebabkan oleh **aberasi sferis**.

2. Pemakaian Lup dengan Mata Berakomodasi Maksimum

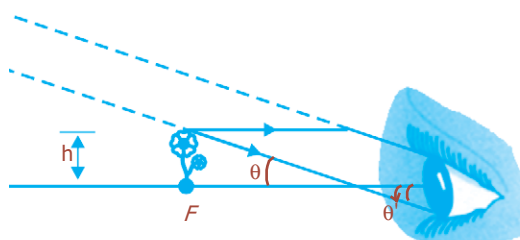
Perbesaran untuk lensa tertentu dapat diperbesar sedikit dengan menggerakkan lensa dan menyesuaikan mata sehingga terfokus pada bayangan di titik dekat mata. Dalam hal ini $s' = -PP$ (Gambar 5.8a), jika mata sangat dekat dengan lup, maka jarak benda s dinyatakan dengan:

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

Dari persamaan ini bahwa $s < f$, seperti ditunjukkan pada

Gambar 5.8a, karena $\frac{PP}{(f+PP)} < 1$. Dengan $\theta' = \frac{b}{s}$, maka:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{b}{s}}{\frac{b}{PP}} = \frac{PP}{s} \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{PP} \right)$$



Gambar 5.9 Dengan mata yang rileks, benda diletakkan pada titik fokus.

BETA^B Berita Fisika

Kaca pembesar adalah lensa konvergen yang dipergunakan sedemikian sehingga benda dibuat tampak lebih besar daripada benda aslinya.

Komet

Kolom mengingat

Perbesaran bayangan pada lup:

- mata tak berakomodasi:

$$M = \frac{PP}{f}$$

- mata berakomodasi:

$$M = \frac{PP}{f} + 1$$

$$M = \frac{PP}{f} + 1 \dots\dots\dots (5.3)$$

(mata terfokus pada titik dekat PP ; $PP = 25$ cm untuk mata normal)

Dari persamaan (5.3) tampak bahwa perbesaran sedikit lebih besar ketika mata terfokus pada titik dekatnya, dan bukan ketika rileks.

Contoh Soal

Berapakah perbesaran anguler lup yang memiliki fokus 8 cm dengan mata tak berakomodasi?

Penyelesaian:

Diketahui: $f = 8$ cm
 $PP = 25$ cm

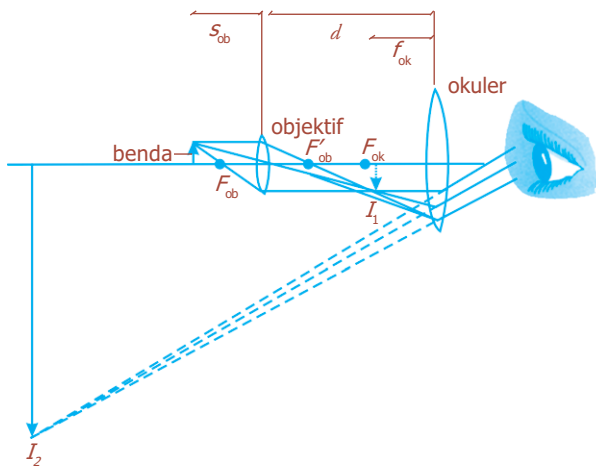
Ditanya : $M = \dots ?$

Jawab:

$$M = \frac{PP}{f} = \frac{25}{8} = 3,125 \text{ kali}$$



C. Mikroskop



Gambar 5.10 Diagram berkas cahaya pada mikroskop.

Mikroskop memiliki lensa **objektif** dan **okuler**. Lensa objektif adalah lensa yang berhadapan dengan objek yang diamati, sedangkan lensa okuler adalah lensa yang langsung berhadapan dengan mata pengamat.

Mikroskop digunakan untuk melihat benda yang sangat dekat, sehingga jarak benda sangat kecil. Benda yang akan diamati diletakkan persis di luar titik fokus objektif, tampak seperti pada Gambar 5.10. Bayangan I_1 yang dibentuk oleh lensa objektif bersifat nyata, cukup jauh dari lensa, dan diperbesar.

Bayangan ini diperbesar oleh okuler menjadi bayangan maya yang sangat besar, I_2 yang terlihat oleh mata dan dibalik.

Perbesaran total mikroskop merupakan hasil kali perbesaran yang dihasilkan oleh kedua lensa. Bayangan I_1 yang dibentuk oleh objektif adalah sebesar faktor M_{ob} lebih besar dari benda itu sendiri. Dari Gambar 5.10, untuk perbesaran lensa sederhana didapatkan:

$$M_{ob} = \frac{h'_{ob}}{h_{ob}} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} = \frac{d - f_{ok}}{s_{ob}} \dots\dots\dots (5.4)$$

di mana s_{ob} dan s'_{ob} adalah jarak benda dan bayangan untuk lensa objektif, d adalah jarak antarlensa.

Lensa okuler bekerja seperti pembesar sederhana (lup). Jika kita anggap bahwa mata rileks (mata tak berakomodasi), perbesaran angular M_{ok} adalah:

$$M_{ok} = \frac{PP}{f_{ok}} \dots\dots\dots (5.5)$$

Titik dekat $PP = 25$ cm untuk mata normal. Karena lensa okuler memperbesar bayangan yang dibentuk oleh objektif, perbesaran angular total M adalah hasil kali antara perbesaran lateral lensa objektif M_{ob} dengan perbesaran angular M_{ok} dari lensa okuler, sehingga diperoleh persamaan:

$$M = M_{ok} \times M_{ob} \dots\dots\dots (5.6)$$

$$M = \left(\frac{PP}{f_{ok}} \right) \left(\frac{d - f_{ok}}{s_{ob}} \right)$$

$$M = \frac{PP \cdot d}{f_{ok} \cdot f_{ob}} \dots\dots\dots (5.7)$$

Dari pendekatan tersebut, persamaan (5.7) akurat jika f_{ok} dan f_{ob} kecil dibandingkan dengan d , sehingga $d - f_{ok} \approx d$ dan $s_{ob} \approx f_{ob}$. Ini merupakan pendekatan yang baik untuk perbesaran besar, karena didapatkan jika f_{ob} dan f_{ok} sangat kecil. Untuk membuat lensa dengan panjang fokus yang sangat pendek, yang paling baik dilakukan untuk objektif, lensa gabungan yang melibatkan beberapa elemen harus digunakan untuk menghindari aberasi.

Contoh Soal

Sebuah mikroskop memiliki tabung dengan panjang 22 cm, fokus okuler 5 cm dan fokus objektif 6 cm. Jika mata tak berakomodasi, tentukan letak benda terhadap lensa objektif!

Penyelesaian:

Diketahui: $d = 22$ cm

$f_{ok} = 5$ cm

$f_{ob} = 6$ cm

Ditanya: $s_{ob} = \dots ?$

Perbesaran bayangan pada mikroskop.

- Mata tak berakomodasi:

$$M = \frac{h'_{ob}}{h_{ob}} + \left(\frac{PP}{f_{ok}} + 1 \right)$$

- Mata berakomodasi maksimum:

$$M = \frac{h'_{ob}}{h_{ob}} + \frac{PP}{f_{ok}}$$



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

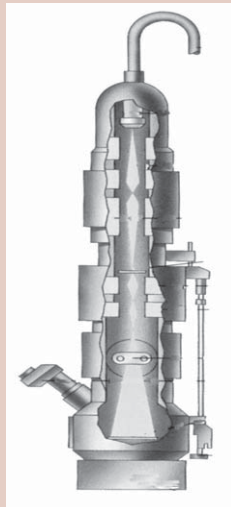
Gambar 5.11 Sebuah mikroskop lengkap.

Jawab:

$$\begin{aligned}d &= s'_{ob} + f_{ok} \rightarrow s'_{ob} = d - f_{ok} \\ &= 22 - 5 \\ &= 17 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$s_{ob} = \frac{s'_{ob} f_{ob}}{s'_{ob} - f_{ob}} = \frac{17 \times 6}{17 - 6} = 9,27 \text{ cm}$$

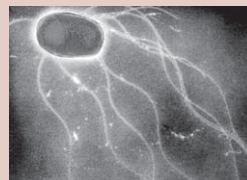
Percikan Fisika



Mikroskop Elektron Transmisi

Bedil elektron dari mikroskop elektron memiliki filamen tungsten yang dipanaskan hingga suhu 2.500 °C. Bedil menembakkan elektron-elektron yang kemudian dipercepat oleh medan listrik tegangan tinggi. Berkas elektron menembus lingkaran elektromagnet yang bertindak seperti lensa, yaitu memfokuskan berkas elektron tepat pada titik di mana ia menembus spesimen. Elektron-elektron membentuk citra ketika membentur layar pendar di bawah sampel. Citra ini dilihat dengan lensa pengamat, seperti pada mikroskop optik biasa. Pompa menyedot udara keluar dari mikroskop agar molekul-molekul gas tidak menghamburkan elektron.

Bakteri Salmonella yang diperbesar 13.000 kali oleh mikroskop elektron tipe transmisi. Bakteri seperti ini dapat meracuni makanan.



Uji Kemampuan 5.1

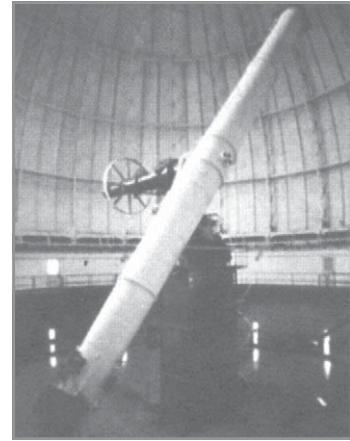
1. Seseorang dengan kelainan mata hipermetropi memiliki titik dekat 80 cm dan memakai kacamata 2,5 dioptri. Ia mengamati benda menggunakan lup yang berjarak fokus 6 cm. Tentukan perbesarannya untuk mata tak berakomodasi dan mata berakomodasi maksimum!
2. Sebuah benda kecil diletakkan pada jarak 2 cm di depan lensa objektif sebuah mikroskop. Jika jarak fokus lensa objektif 1,2 cm dan fokus lensa okuler 1 cm, hitunglah panjang tabung dan perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum!



D. Teleskop (Teropong Bintang)

Teleskop digunakan untuk memperbesar benda yang sangat jauh letaknya. Pada kebanyakan kasus di dalam penggunaan teleskop, benda bisa dianggap berada pada jarak tak berhingga. Galileo, walaupun bukan penemu teleskop, ia mengembangkan teleskop menjadi instrumen yang penting dan dapat digunakan. Galileo merupakan orang pertama yang meneliti ruang angkasa dengan teleskop, dan ia membuat penemuan-penemuan yang mengguncang dunia, di antaranya satelit-satelit Jupiter, fase Venus, bercak matahari, struktur permukaan bulan, dan bahwa galaksi Bimasakti terdiri dari sejumlah besar bintang-bintang individu.

Secara garis besar, teleskop atau teropong bintang (teropong astronomi) dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu **teleskop pembias (Keplerian)** dan **teleskop pemantul**.

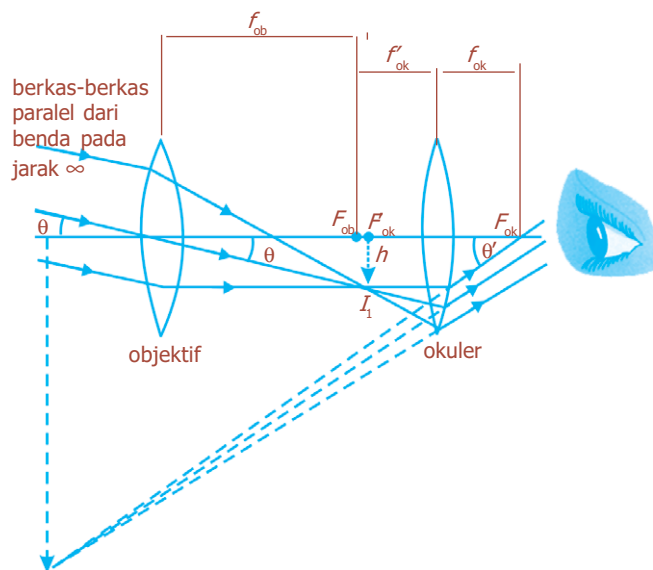


Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

Gambar 5.12 Teleskop untuk mengamati benda-benda yang letaknya jauh.

1. Teleskop Pembias (Keplerian)

Teleskop pembias terdiri dari dua lensa konvergen (lensa cembung) yang berada pada ujung-ujung berlawanan dari tabung yang panjang, seperti diilustrasikan pada Gambar 5.13. Lensa yang paling dekat dengan objek disebut **lensa objektif** dan akan membentuk bayangan nyata I_1 dari benda yang jatuh pada bidang titik fokusnya F_{ob} (atau di dekatnya jika benda tidak berada pada tak berhingga). Walaupun bayangan I_1 lebih kecil dari benda aslinya, ia membentuk sudut yang lebih besar dan sangat dekat ke **lensa okuler**, yang berfungsi sebagai pembesar. Dengan demikian, lensa okuler memperbesar bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif untuk menghasilkan bayangan kedua yang jauh lebih besar I_2 , yang bersifat maya dan terbalik.



Gambar 5.13 Diagram pembentukan bayangan pada teleskop pembias.



Sumber: *Jendela Iptek Astronomi*, PT Balai Pustaka, 2000

Gambar 5.14 Teleskop pembias abad ke-19.

Jika mata yang melihat rileks (tak berakomodasi), lensa okuler dapat diatur sehingga bayangan I_2 berada pada tak berhingga. Kemudian bayangan nyata I_1 berada pada titik fokus f'_{ok} dari okuler, dan jarak antara lensa objektif dengan lensa okuler adalah $d = f_{ob} + f'_{ok}$ untuk benda pada jarak tak berhingga.

Perbesaran total dari teleskop dapat diketahui dengan melihat bahwa $\theta \approx \frac{h}{f'_{ob}}$, di mana h adalah tinggi bayangan I_1 dan kita anggap θ kecil, sehingga $\tan \theta \approx \theta$. Kemudian garis yang paling tebal untuk berkas sinar sejajar dengan sumbu utama tersebut, sebelum jatuh pada okuler, sehingga melewati titik fokus okuler F_{ok} , berarti $\theta' \approx \frac{h}{f_{ok}}$.

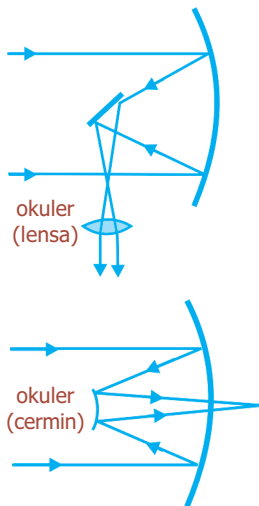
Perbesaran angular (daya perbesaran total) teleskop adalah:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f_{ob}}{f_{ok}} \dots\dots\dots (5.8)$$

Tanda minus (-) untuk menunjukkan bahwa bayangan yang terbentuk bersifat terbalik. Untuk mendapatkan perbesaran yang lebih besar, lensa objektif harus memiliki panjang fokus (f_{ob}) yang panjang dan panjang fokus yang pendek untuk okuler (f_{ok}).

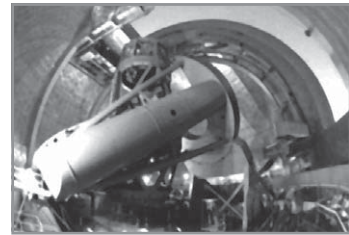
2. Teleskop Pemantul

Sebelumnya telah disebutkan bahwa untuk membuat teleskop pembias (teleskop astronomi) berukuran besar diperlukan konstruksi dan pengasahan lensa besar yang sangat sulit. Untuk mengatasi hal ini, umumnya teleskop-teleskop paling besar merupakan jenis teleskop pemantul yang menggunakan cermin lengkung sebagai objektif, (Gambar 5.15), karena cermin hanya memiliki satu permukaan sebagai dasarnya dan dapat ditunjang sepanjang permukaannya. Keuntungan lain dari cermin sebagai objektif adalah tidak memperlihatkan aberasi kromatik karena cahaya tidak melewatinya. Selain itu, cermin dapat menjadi dasar dalam bentuk parabola untuk membetulkan aberasi sferis. Teleskop pemantul pertama kali diusulkan oleh Newton. Biasanya lensa atau cermin okuler, tampak seperti pada Gambar 5.15 dipindahkan sehingga bayangan nyata yang dibentuk oleh cermin objektif dapat direkam langsung pada film.



Gambar 5.15 Cermin cekung digunakan sebagai objektif pada teleskop astronomi.

Agar teleskop astronomi menghasilkan bayangan yang terang dari bintang-bintang yang jauh, lensa objektif harus besar untuk memungkinkan cahaya masuk sebanyak mungkin. Dan memang, diameter objektif merupakan parameter yang paling penting untuk teleskop astronomi, yang merupakan alasan mengapa teleskop yang paling besar dispesifikasikan dengan menyebutkan diameter objektifnya, misalnya teleskop Hale 200 inci di Gunung Palomar. Dalam hal ini, konstruksi dan pengasahan lensa besar sangat sulit.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

Gambar 5.16 Teleskop Hale termasuk teleskop pemantul, adalah teleskop terbesar di dunia.

Kegiatan

Tujuan : Melakukan percobaan dengan teropong bintang yang memiliki dua lensa positif.
 Alat dan bahan : Bangku optik, lensa positif dengan jarak fokus 200 cm dan 20 cm, statif untuk lensa dua buah.

Cara Kerja:

1. Siapkan bangku optik sepanjang 220 m, dua buah lensa positif dengan jarak titik api masing-masing 200 cm dan 20 cm lengkap dengan statifnya.
2. Letakkan salah satu lensa positif berstatif pada salah satu ujung bangku optik, dan lensa positif lainnya pada ujung yang lain.
3. Pada kondisi fisis seperti pada langkah 2, lihatlah benda-benda yang cukup jauh melalui bagian lensa positif keduanya berganti-ganti. Kondisi fisis dari bayangan seperti apakah yang dapat teramati oleh mata?
4. Pada langkah 3 usahakan mendapatkan bayangan yang paling jelas dengan menggeser-geser jarak antara kedua lensa.
5. Perkirakan jarak antara benda sampai sistem lensa (s) dan perkirakan pula jarak bayangan yang terjadi dari sistem lensa (s').
6. Masukkan data berdasarkan pengamatan ke dalam tabel berikut ini.

F_1	F_2	s	s'	$1/s + 1/s'$	s'/s	$f_1 + f_2$	f_2/f_1

Diskusi:

1. Apa yang dapat disimpulkan dari percobaan tersebut?
2. Bagaimanakah sifat bayangan yang dibentuk oleh teropong bintang tersebut?

Percikan Fisika



Teleskop Radio

Teleskop radio modern dapat memayar langit dengan antena berbentuk mangkuk parabola raksasa, yang mampu memantulkan sinyal radio ke antena penyadap kecil berbentuk tanduk. Desain antena seperti ini dapat memastikan posisi sumber setiap gelombang radio, dengan tingkat ketelitian sangat tinggi. Pesawat penerima radio yang peka dapat menguatkan sinyal, dan komputer membangkitkan citra visual dan merekam data untuk keperluan penelitian para ahli astronomi. Gambar di samping menunjukkan teleskop radio Arecibo yang dibangun di sebuah kawah alami di kawasan Pegunungan Puerto Rico. Mangkuk kawah berukuran bentang 305 m ini memantulkan sinyal ke antena seberat 90 ton yang terletak pada ketinggian 130 meter di atasnya.



E. Teropong Terrestrial (Teropong Medan)



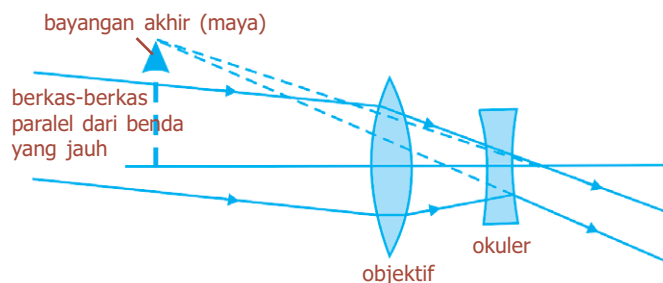
Sumber: *Encyclopedia Britannica*, 2005

Gambar 5.17 Teleskop Galileo.

Teropong terestrial atau teropong medan yang digunakan untuk melihat benda-benda di Bumi, tidak seperti teropong bintang (teleskop), harus menghasilkan bayangan tegak. Dua rancangan teropong terestrial diperlihatkan pada Gambar 5.18 dan 5.19.

1. Teropong Galilean

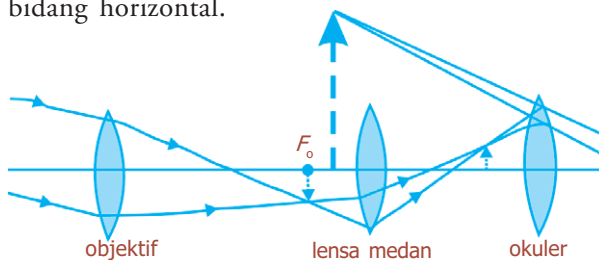
Teropong Galilean ditunjukkan pada Gambar 5.17, yang digunakan Galileo untuk penemuan-penemuan astronominya yang terkenal, memiliki lensa divergen (lensa cekung) sebagai okuler yang memotong berkas yang mengumpul dari lensa objektif sebelum mencapai fokus, dan berfungsi untuk membentuk bayangan tegak maya. Rancangan ini sering digunakan pada kacamata opera. Tabungnya pendek, tetapi medan pandang kecil.



Gambar 5.18 Teropong terestrial Galilean.

2. Spyglass

Jenis ini menggunakan lensa ketiga (“lensa medan”) yang berfungsi untuk membuat bayangan tegak seperti digambarkan pada Gambar 5.20. **Spyglass** harus cukup panjang, sehingga sangat kurang praktis. Rancangan yang paling praktis sekarang ini adalah **teropong prisma** yang diperlihatkan pada Gambar 5.19. Objektiv dan okuler merupakan lensa konvergen. Prisma memantulkan berkas dengan pantulan internal sempurna dan memendekkan ukuran fisik alat tersebut, dan juga berfungsi untuk menghasilkan bayangan tegak. Satu prisma membalikkan kembali bayangan pada bidang vertikal, yang lainnya pada bidang horizontal.



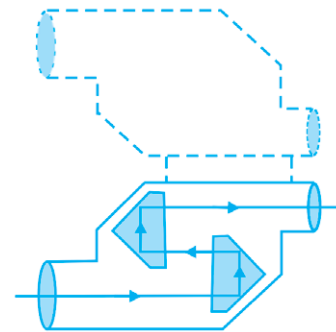
Gambar 5.20 Teropong terrestrial spyglass.



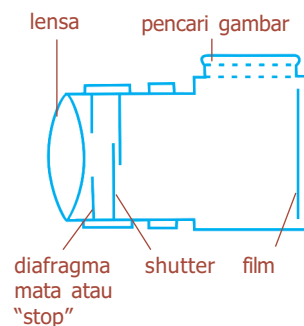
Kamera

Komponen-komponen dasar kamera adalah lensa, kotak ringan yang rapat, *shutter* (penutup) untuk memungkinkan lewatnya cahaya melalui lensa dalam waktu yang singkat, dan pelat atau potongan film yang peka. Gambar 5.21 menunjukkan desain atau diagram sebuah kamera sederhana. Ketika *shutter* dibuka, cahaya dari benda luar dalam medan pandangan difokuskan oleh lensa sebagai bayangan pada film. Film terdiri dari bahan kimia yang peka terhadap cahaya yang mengalami perubahan ketika cahaya menyimpannya. Pada proses pencucian, reaksi kimia menyebabkan bagian yang berubah menjadi tak tembus cahaya sehingga bayangan terekam pada film. Benda atau film ini disebut *negatif*, karena bagian hitam menunjukkan benda yang terang dan sebaliknya. Proses yang sama terjadi selama pencetakan gambar untuk menghasilkan gambar “positif” hitam dan putih. Film berwarna menggunakan tiga bahan celup yang merupakan warna-warna primer.

Kalian juga dapat melihat bayangan dengan membuka bagian belakang kamera dan memandang melalui secarik *tissue* atau kertas lilin (di mana bayangan dapat terbentuk) yang diletakkan pada posisi film dengan *shutter* terbuka.



Gambar 5.19 Pantulan cahaya internal sempurna oleh prisma teropong.



Gambar 5.21 Kamera sederhana

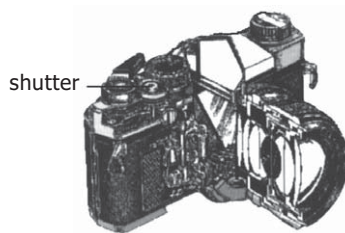
BETA ^β Berita Fisika

Pada 1925, Leitz Company dari Jerman membuat kamera pertama yang menggunakan film berukuran 35 mm. Berkas film tersebut, kamera dibuat kecil dan ekonomis.



Sumber: *Encarta Encyclopedia*, 2006

Gambar 5.22 Macam-macam kamera.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

Gambar 5.23 Kamera SLR dengan shutter di depan film.



Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

Gambar 5.24 Pada kamera ini f-stop ada pada lensa kamera.

Ada tiga penyetelan utama pada kamera dengan kualitas yang baik, yaitu kecepatan *shutter*, *f-stop*, dan pemfokusan. Pada saat ini, walaupun banyak kamera dengan sistem penyetelan secara otomatis, pemahaman mengenainya akan berguna untuk menggunakan kamera apa pun dengan efektif. Untuk hasil yang khusus dan kualitas tinggi, kamera yang memungkinkan penyetelan manual harus dimiliki.

1. Kelajuan *Shutter*

Kelajuan *shutter* mengacu pada berapa lama penutup kamera (*shutter*) dibuka dan film terbuka. Laju ini bisa bervariasi dari satu detik atau lebih (“waktu pencahayaan”) sampai $\frac{1}{1.000}$ detik atau lebih kecil lagi. Untuk menghindari pengaburan karena gerak kamera, laju yang lebih cepat dari $\frac{1}{100}$ detik biasanya digunakan. Jika benda bergerak, laju *shutter* yang lebih tinggi dibutuhkan untuk “menghentikan” gerak tersebut. Umumnya shutter berada persis di belakang lensa, sedangkan pada kamera SLR (*single-lens reflex* / refleksi lensa tunggal) adalah shutter “bidang fokus”, yang merupakan tirai tidak tembus cahaya persis di depan film yang bukaannya dapat bergerak cepat melintasi film untuk menerima cahaya.

2. f-stop

Banyaknya cahaya yang mencapai film harus dikendalikan dengan hati-hati untuk menghindari **kekurangan cahaya** (terlalu sedikit cahaya sehingga yang terlihat hanya benda yang paling terang) atau **kelebihan cahaya** (terlalu banyak cahaya, sehingga semua benda terang tampak sama, tanpa adanya kesan kontras dan kesan “tercuci”). Untuk mengendalikan bukaan, suatu “stop” atau diafragma mata, yang bukaannya dengan diameter variabel, diletakkan di belakang lensa. Ukuran bukaan bervariasi untuk mengimbangi hari-hari yang terang atau gelap, kepekaan film yang digunakan, dan kecepatan shutter yang berbeda. Ukuran bukaan diatur dengan *f-stop*, didefinisikan sebagai:

$$f\text{-stop} = \frac{f}{D}$$

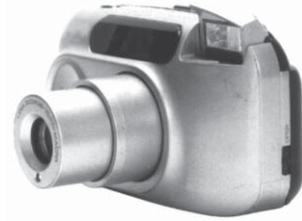
Dengan *f-stop* adalah panjang fokus lensa dan *D* adalah diameter bukaan. Contohnya, jika lensa dengan panjang fokus 50 mm memiliki bukaan $D = 25$ mm, maka lensa tersebut diatur pada $\frac{f}{2}$. Bila lensa diatur pada $\frac{f}{8}$, bukaan hanya $6\frac{1}{4}$ mm ($\frac{50}{6\frac{1}{4}} = 8$).

3. Pemfokusan

Pemfokusan adalah peletakan lensa pada posisi yang benar relatif terhadap film untuk mendapatkan bayangan yang paling tajam. Jarak bayangan minimum untuk benda di jarak tak berhingga (∞) dan sama dengan panjang fokus. Untuk benda-benda yang lebih dekat, jarak bayangan lebih besar dari panjang fokus, sesuai dengan persamaan atau rumus lensa $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$. Untuk memfokuskan benda-benda dekat, lensa harus dijauhkan dari film, hal ini biasanya dilakukan dengan memutar sebuah gelang pada lensa.

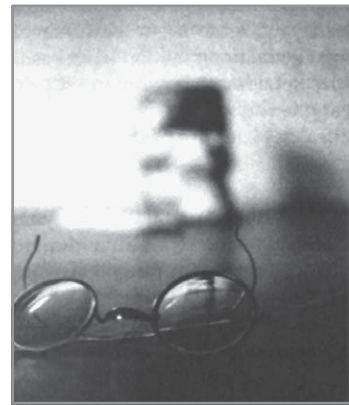
Jika lensa terfokus pada benda dekat, bayangan tajam dari benda itu akan terbentuk, tetapi benda yang jauh mungkin akan kabur, tampak seperti pada Gambar 5.26. Berkas-berkas dari titik pada benda jauh akan berada di luar fokus, dan membentuk lingkaran pada film. Benda jauh akan menghasilkan bayangan yang terdiri atas lingkaran-lingkaran yang bertumpang-tindih dan akan kabur. Lingkaran-lingkaran ini disebut **lingkaran kebingungan**. Agar benda dekat dan jauh terlihat tajam pada saat yang sama dapat diperoleh dengan mengatur fokus lensa pada posisi pertengahan. Untuk pengaturan jarak tertentu, ada kisaran jarak di mana lingkaran-lingkaran tersebut akan cukup kecil, sehingga bayangan akan cukup tajam. Kisaran ini disebut **kedalaman medan**. Untuk pilihan diameter lingkaran kebingungan tertentu sebagai batas atas (biasanya diambil 0,03 mm untuk kamera 35 mm), kedalaman medan bervariasi terhadap bukaan lensa. Faktor lain juga memengaruhi ketajaman bayangan, antara lain kekasaran film, difraksi, dan aberasi lensa yang berhubungan dengan kualitas lensa itu sendiri.

Berdasarkan panjang fokus dan ukuran film, lensa kamera dibedakan menjadi normal, telefoto, dan sudut lebar. **Lensa normal** adalah lensa yang menutup film dengan medan pandangan yang kira-kira sama dengan pandangan normal. Lensa normal untuk film 35 mm mempunyai panjang fokus dalam jarak 50 mm. **Lensa telefoto** berfungsi seperti teleskop untuk memperbesar bayangan. Lensa ini memiliki panjang fokus yang lebih panjang dari lensa normal, ketinggian bayangan untuk jarak benda tertentu sebanding dengan jarak bayangan, dan jarak bayangan akan lebih besar untuk lensa dengan panjang fokus yang lebih besar. Untuk benda-benda jauh, tinggi bayangan hampir sebanding dengan panjang fokus. Bila lensa telefoto 200 mm yang digunakan pada kamera 35 mm menghasilkan perbesaran $4\times$ lensa normal 50 mm.

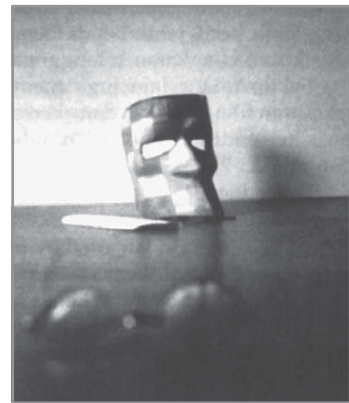


Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

Gambar 5.25 Dalam kamera modern terdapat sistem untuk penyetelan lensa (fokus).



(a)



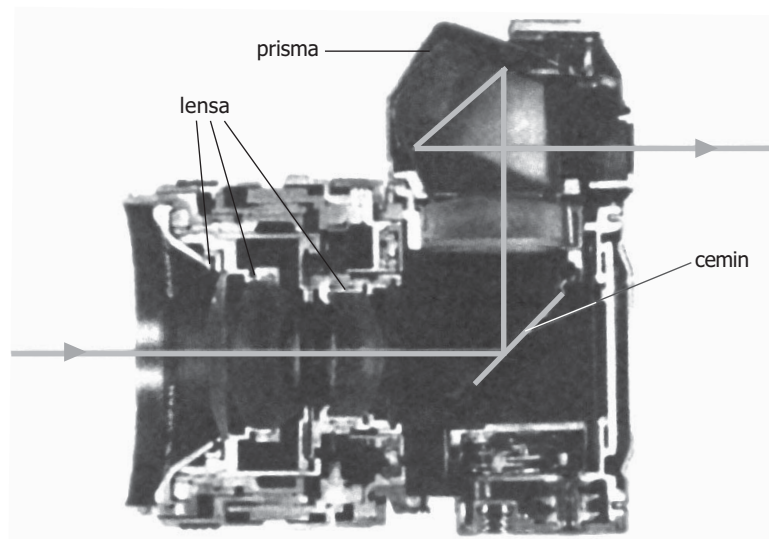
(b)

Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

Gambar 5.26 Foto dengan kamera terfokus (a) pada benda dekat, (b) pada benda jauh.

Lensa sudut lebar memiliki panjang fokus yang lebih pendek dari normal, medan pandang yang lebar akan tercakup dan benda-benda tampak lebih kecil. **Lensa zoom** memiliki panjang fokus yang dapat diubah, sehingga kita tampak mendekati atau menjauhi objek sewaktu mengubah panjang fokus.

Dua jenis sistem pandangan umum dipakai pada kamera-kamera saat ini. Umumnya, kalian melihat melalui jendela kecil persis di atas lensa seperti skema/diagram kamera sederhana pada Gambar 5.21. Pada kamera **refleks lensa tunggal** (*single-lens reflex/SLR*), kalian secara aktual/nyata memandang melalui lensa dengan menggunakan prisma dan cermin, tampak seperti pada Gambar 5.27. Sebuah cermin tergantung pada sudut 45° di belakang lensa dan mengangkat persis sebelum *shutter* terbuka. SLR memiliki keuntungan besar bahwa kalian akan melihat hampir sama dengan apa yang kalian dapatkan di film.



Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

Gambar 5.27 Kamera refleks lensa tunggal (*single-lens reflex/SLR*).

Uji Kemampuan 5.2

1. Bilamana mata dikatakan sedang berakomodasi maksimum dan tidak berakomodasi?
2. Sebuah teleskop (teropong bintang) memiliki lensa objektif dengan fokus 120 cm dan lensa okuler dengan fokus 6 cm. Berapakah panjang dan perbesaran teleskop tersebut?

3. Teropong terestrial memiliki fokus lensa objektif 90 cm dan fokus lensa okuler 9 cm. Di antara kedua lensa tersebut disisipkan lensa pembalik dengan fokus 6 cm. Jika mata tidak berakomodasi, tentukan:
 - a. perbesaran bayangan,
 - b. panjang teropong!
4. Jelaskan sifat bayangan yang terjadi pada saat kita menggunakan kamera!

Fiesta

Fisikawan Kita



William Fox Talbot (1800-1877)

Hampir seribu tahun yang lalu ilmuwan Arab Alhazen menjelaskan bagaimana bayangan gambar Matahari dapat dibuat di dalam ruangan yang digelapkan. Menjelang tahun 1660 orang telah membuat kamera obscura yang dapat dibawa ke mana-mana yang dilengkapi dengan lensa, layar kertas, dan alat pemfokus. Baru 150 tahun kemudian Joseph Niepce menemukan cara untuk merekam cahaya sehingga fotografi yang sebenarnya pun lahir.

Kamera modern menggunakan teknik yang dirintis pada awal tahun 1830-an oleh William Fox Talbot (1800-1877). Ia mencelupkan kertas ke dalam klorida perak yang berubah menjadi berwarna gelap jika terdedah ke udara. Ketika ia membiarkan cahaya jatuh ke kertas itu, timbul gambar negatif. Dengan menggunakan teknik yang sama ia dapat membuat cetakan positif.

Kilas Balik

- * Mata merupakan alat indra yang dapat menangkap perubahan dan perbedaan cahaya.
- * Lup atau kaca pembesar merupakan lensa konvergen sehingga benda tampak lebih besar.
- * Mikroskop adalah alat optik yang dapat memperbesar benda yang sangat kecil.
- * Teleskop adalah alat optik yang digunakan untuk memperbesar benda yang sangat jauh letaknya, misalnya bintang.
- * Kamera adalah alat optik yang digunakan untuk membentuk dan merekam bayangan dari benda pada film. Bayangan yang terbentuk adalah bayangan terbalik dan merupakan bayangan nyata.

Uji Kompetensi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Seseorang memakai kacamata dengan kekuatan 1,5 dioptri, sehingga dapat membaca seperti mata normal. Titik dekat (PP) orang tersebut adalah
 - a. 36 cm
 - b. 40 cm
 - c. 42 cm
 - d. 45 cm
 - e. 50 cm
2. Mata miopi yang mempunyai titik jauh (PR) berjarak 8 m hendak melihat benda pada jarak tak berhingga dengan tidak berakomodasi. Maka kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai adalah
 - a. -25 dioptri
 - b. -50 dioptri
 - c. -75 dioptri
 - d. -125 dioptri
 - e. -150 dioptri
3. Sebuah lup memiliki jarak fokus 5 cm dipakai untuk melihat benda kecil yang berjarak 5 cm dari lup. Perbesaran anguler lup itu adalah
 - a. 2 kali
 - b. 4 kali
 - c. $4\frac{1}{6}$ kali
 - d. 5 kali
 - e. $6\frac{1}{4}$ kali
4. Sebuah lup yang panjang fokusnya 6 cm digunakan untuk mengamati sebuah benda dengan mata berakomodasi maksimum. Jika jarak titik dekat mata 25 cm, maka jarak benda dari lup dan perbesarannya masing-masing adalah
 - a. 4,84 cm dan 5,1 kali
 - b. 6,0 cm dan 4,7 kali
 - c. 6,0 cm dan 5,16 kali
 - d. 8,82 cm dan 2,83 kali
 - e. 25 cm dan 5,16 kali
5. Sebuah benda yang akan dilihat dengan menggunakan mikroskop harus diletakkan pada
 - a. ruang I lensa objektif
 - b. ruang II lensa objektif
 - c. ruang III lensa objektif
 - d. titik fokus lensa objektif
 - e. titik pusat lensa objektif
6. Sebuah mikroskop memiliki panjang fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 10 cm dan 5 cm. Jika jarak antara lensa objektif dan okuler 35 cm dan mata tidak berakomodasi, maka perbesaran total mikroskop adalah
 - a. 10 kali
 - b. 12 kali
 - c. 15 kali
 - d. 18 kali
 - e. 20 kali
7. Sebuah teropong bintang memiliki panjang fokus objektif 20 cm. Jika perbesaran sudutnya 5 kali dan mata tidak berakomodasi, maka panjang teropong bintang itu adalah
 - a. 16 cm
 - b. 20 cm
 - c. 24 cm
 - d. 25 cm
 - e. 30 cm

8. Sebuah teropong bintang memiliki jarak fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 100 cm dan 8 cm. Ternyata bayangan bintang yang diamati pengamat tepat jatuh di titik fokus okuler. Kemudian lensa okuler digeser hingga mata pengamat berakomodasi sejauh 32 cm. Maka lensa okuler telah digeser sejauh ...
 - a. 1,2 cm ke dalam
 - b. 1,2 cm ke luar
 - c. 1,6 cm ke dalam
 - d. 1,6 cm ke luar
 - e. 2,0 cm ke dalam
9. Sebuah teropong medan (teropong bumi) memiliki lensa objektif, pembalik, dan okuler masing-masing dengan kekuatan 2 D, 20 D, dan 20 D. Jika teropong digunakan untuk melihat benda pada jarak tak berhingga, ternyata mata berakomodasi sejauh 45 cm. Jika mata normal dan tidak berakomodasi, maka lensa okuler harus digeser sejauh
 - a. 0,5 cm ke dalam
 - b. 0,5 cm ke luar
 - c. 1,0 cm ke luar
 - d. 1,0 cm ke dalam
 - e. 2,0 cm ke dalam
10. Sebuah objek yang akan difoto dengan menggunakan kamera harus diatur kedudukannya di ruang III, sehingga dihasilkan bayangan pada ruang II. Sifat bayangan objek tersebut adalah
 - a. nyata, tegak, dan diperkecil
 - b. nyata, terbalik, dan diperkecil
 - c. maya, tegak, dan diperkecil
 - d. maya, terbalik, dan diperkecil
 - e. maya, terbalik, dan diperbesar

B. Jawablah dengan singkat dan benar!

1. Seseorang memiliki titik jauh (*punctum remotum*) 200 cm, sedangkan titik dekat (*punctum proximum*) normal. Berapa kekuatan lensa kacamata yang harus digunakan agar dapat melihat dengan normal?
2. Seseorang bermata normal mengamati benda dengan lup berkekuatan 10 D. Jika lup diletakkan 4 cm di depan mata dan untuk mata berakomodasi maksimum, maka hitung perbesaran angulernya!
3. Sebuah mikroskop memiliki jarak fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 9 mm dan 5 cm. Jika sebuah benda ditempatkan pada jarak 10 mm di depan objektif dan jarak antara lensa objektif ke lensa okuler 12 cm, maka tentukan:
 - a. perbesaran yang dihasilkan,
 - b. lukisan jalannya sinar untuk pembentukan bayangan, dan
 - c. jarak pergeseran lensa objektif!
4. Sebuah teropong bintang memiliki jarak fokus lensa okuler 1,2 cm dan perbesaran 150 kali. Jika melakukan pengamatan untuk mata yang tidak berakomodasi, berapa jarak fokus lensa objektif?
5. Sebutkan bagian-bagian dari kamera dan jelaskan fungsi masing-masing bagian tersebut!

KUNCI JAWABAN NOMOR GENAP

BAB 1 BESARAN DAN SATUAN

- A. 2. e 8. a
4. b 10. d
6. a
- B. 2. Satuan A dalam m/s, satuan B dalam m/s²,
satuan C dalam m/s³
4. 14 N

BAB 2 GERAK LURUS

- A. 2. c 8. b
4. b 10. c
6. c
- B. 2. $\frac{2}{9}$ m/s²
4. a. 10 m/s
b. $h = 5$ m $h_2 = 15$ m

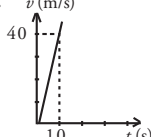
BAB 3 GERAK MELINGKAR BERATURAN

- A. 2. d 8. d
4. d 10. d
6. b
- B. 2. 5 m/s
4. a. $\frac{1}{2}$ jam
b. 18 buah

BAB 4 HUKUM NEWTON TENTANG GERAK

- A. 2. c 8. d
4. d 10. a
6. d
- B. 2. a. 200 N c. 5 m/s
b. $100\sqrt{3}$ N d. 40 m
4. 4 m/s^2

UJI KOMPETENSI SEMESTER 1

- A. 2. b 12. c 22. d 32. c
4. c 14. c 24. d 34. d
6. e 16. c 26. b 36. b
8. a 18. c 28. b 38. e
10. a 20. c 30. c 40. e
- B. 2. 8 N 6. a. 4π rad/s
4. a. 40 m/s b. $0,4\pi$ m/s
b. v (m/s) 8. $v = 30$ m/s
 $s = 90$ m

10. a. 2 m/s^2
b. 24 N
c. 2 s
- c. 200 m

BAB 5 ALAT-ALAT OPTIK

- A. 2. a 8. c
4. a 10. a
6. c
- B. 2. 3,1 dioptri
4. 180 cm

BAB 6 SUHU DAN KALOR

- A. 2. c 8. c
4. a 10. e
6. e
- B. 2. 8 liter
4. $33,68$ °C

BAB 7 LISTRIK

- A. 2. c 8. c
4. a 10. b
6. e
- B. 2. 1 ohm
4. 3,6 watt

BAB 8 GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

- A. 2. b 8. d
4. a 10. d
6. b
- B. 2. 5,796 K
4. 300 km

UJI KOMPETENSI SEMESTER 2

- A. 2. d 12. a 22. a 32. b
4. a 14. b 24. c 34. b
6. b 16. e 26. c 36. c
8. d 18. e 28. d 38. b
10. c 20. a 30. a 40. d
- B. 2. 60 cm bayangan maya, tegak, diperbesar
4. 110 °X
6. 41 °C
8. a. 0,02 A
b. $1,5 \times 10^{19}$ elektron
10. 10 m s.d. 50 m

DAFTAR KONSTANTA

Konstanta-Konstanta Dasar			
Besaran	Simbol	Nilai Pendekatan	Nilai Terbaik yang Terakhir
Laju cahaya di ruang hampa	c	$3,00 \times 10^8$ m/s	$2,99792458 \times 10^8$ m/s
Konstanta gravitasi	G	$6,67 \times 10^{-11}$ Nm ² /m	$6,67259 ((85) \times 10^{-11})$ Nm ² /kg ²
Bilangan Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23}$ mol ⁻¹	$6,0221367(36) \times 10^{23}$ mol ⁻¹
Konstanta gas	R	$8,315$ J/mol.K = 1,99 kal/mol.K = 0,082 atm.liter/mol.K	$8,314510(70)$ J/mol.K
Konstanta-Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K	$1,380658(12) \times 10^{-23}$ J/K
Muatan elektron	e	$1,60 \times 10^{-19}$ C	$1,6021733(49) \times 10^{-19}$ C
Konstanta Stefan Boltzmann	σ	$5,67 \times 10^{-8}$ W/m ² K ⁴	$5,67051(19) \times 10^{-8}$ W/m ² K ⁴
Permittivitas hampa udara	$\epsilon_0 = (1/c^2 \mu_0)$	$8,85 \times 10^{-12}$ C ² /Nm ²	$8,854187817... \times 10^{-12}$ C ² /Nm ²
Permeabilitas hampa udara	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A	$1,2566370614... \times 10^{-6}$ T.m/A
Konstanta Planck	h	$6,63 \times 10^{-34}$ J.s	$6,6260755(40) \times 10^{-34}$ J.s
Massa diam elektron	m_e	$9,11 \times 10^{-31}$ kg = 0,000549 u = 0,511 MeV/c ²	$9,1093897(54) \times 10^{-31}$ kg = 5,48579903(13) $\times 10^{-4}$ sma
Massa diam proton	m_p	$1,67726 \times 10^{-27}$ kg = 1,00728 u = 938,3 MeV/c ²	$1,6726231(10) \times 10^{-27}$ kg = 1,007276479(12) sma
Massa diam neutron	m_n	$1,6749 \times 10^{-27}$ kg = 1,00728 u = 938,3 MeV/c ²	$1,6749286(10) \times 10^{-27}$ kg = 1,008664904(14) sma
satuan massa atom (sma)	u	$1,6605 \times 10^{-27}$ kg = 931,5 MeV/c ²	$1,6605402(10) \times 10^{-27}$ kg = 931,49432(28) MeV/c ²

Daftar Alfabet Yunani

Alpha	A	α	Nu	N	ν
Beta	B	β	Xi	Ξ	ξ
Gamma	Γ	γ	Omicron	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsilon	E	ϵ	Rho	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Theta	Θ	θ	Upsilon	Y	υ
Iota	I	ι	Phi	Φ	ϕ, φ
Kappa	K	κ	Chi	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mu	M	μ	Omega	Ω	ω

Satuan Turunan SI dan Singkatannya

Besaran	Satuan	Singkatan	Dalam Satuan Dasar
Gaya	newton	N	kg.m/s ²
Energi dan kerja	joule	J	kg.m ² /s ²
Daya	watt	W	kg.m ² /s ³
Tekanan	pascal	Pa	kg/(m.s ²)
Frekuensi	hertz	Hz	s ⁻¹
Muatan listrik	coulomb	C	A.s
Potensial listrik	volt	V	kg.m ² /(A.s ³)
Hambatan listrik	ohm	Ω	kg.m ² /(A ² .s ³)
Kapasitansi	farad	F	A ² .s ⁴ /(kg.m ²)
Medan listrik	tesla	T	kg/(A.s ²)
Fluks magnetik	weber	Wb	kg.m ² /(A.s ²)
Induktansi	henry	H	kg.m ² /(s ² .A ²)

Konversi Satuan (Ekuivalen)

Panjang

1 inci	= 2,54 cm
1 cm	= 0,394 inci
1 ft	= 30,5 cm
1 m	= 39,37 inci = 3,28 ft
1 mil	= 5.280 ft = 1,61 km
1 km	= 0,621 mil
1 mil laut (U.S)	= 1,15 mil = 6.076 ft = 1,852 km
1 fermi	= 1 femtometer (fm) = 10^{-15} m
1 angstrom (Å)	= 10^{-10} m
1 tahun cahaya (ly)	= $9,46 \times 10^{15}$ m
1 parsec	= 3,26 ly = $3,09 \times 10^{16}$ m

Laju

1 mil/h	= 1,47 ft/s = 1,609 km/h = 0,447 m/s
1 km/h	= 0,278 m/s = 0,621 mil/h
1 ft/s	= 0,305 m/s = 0,682 mil/h
1 m/s	= 3,28 ft/s = 3,60 km/h
1 knot	= 1,151 mil/h = 0,5144 m/s

Sudut

1 radian (rad)	= $57,30^\circ = 57^\circ 18'$
1°	= 0,01745 rad
1 rev/min (rpm)	= 0,1047 rad/s

Volume

1 liter (L)	= 1.000 mL = $1.000 \text{ cm}^3 = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
	= 1,057 quart (U.S) = 54,6 inci ³
1 gallon (U.S)	= 4 qt (U.S) = $231 \text{ in.}^3 = 3,78 \text{ L}$
	= 0,83 gal (imperial)
1 m^3	= 35,31 ft ³

Massa

1 satuan massa atom (u)	= $1,6605 \times 10^{-27}$ kg
1 kg	= 0,0685 slug
(1 kg mempunyai berat 2,20 lb di mana $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)	

Gaya

1 lb	= 4,45 N
1 N	= 10^5 dyne = 0,225 lb

Waktu

1 hari	= $8,64 \times 10^4$ s
1 tahun	= $3,156 \times 10^7$ s

Tekanan

1 atm	= 1,013 bar = $1,013 \times 10 \text{ N/m}^2$
	= 14,7 lb/inci ² = 760 torr
1 lb/inci ²	= $6,90 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
1 Pa	= $1 \text{ N/m}^2 = 1,45 \times 10^{-4} \text{ lb/inci}^2$

Energi dan Kerja

1 J	= 10^7 ergs = 0,738 ft.lb
1 ft.lb	= 1,36 J = $1,29 \times 10^{-3}$ Btu = $3,24 \times 10^{-4}$ kkal
kkal	= $4,18 \times 10^3$ J = 3,97 Btu
1 eV	= $1,602 \times 10^{-19}$ J
1 kWh	= $3,60 \times 10^6$ J = 860 kkal

Daya

1 W	= 1 J/s = 0,738 ft.lb/s = 3,42 Btu/h
1 hp	= 550 ft.lb/s = 746 W

