

## BAB – 15 OPTIK

### 15.1 LENSA

Salah satu lensa yang sederhana adalah lensa bundar tebal yang terbuat dari material yang transparan, biasanya terbuat dari gelas, bagian lensa yang paling tebal adalah bagian tengahnya dibandingkan bagian pinggirnya. Diperlihatkan pada gambar 15.1 dioerlihatkan tampak depan dan tampak samping terlihat sebagai lensa konveks (positif). Sedangkan lensa konveks (negative) diperlihatkan pada gambar 15., pada lensa konveks negative bagian tengahnya lebih tipis dibandingkan bagian pinggirnya.

Lensa mempunyai sifat mirip dengan prisma dimana dapat menyimpangkan cahaya yang melewatinya. Perbedaannya dari prisma adalah, pada sudut deviasi dari cahaya tergantung pada cahaya dimana cahaya itu datang, gambar 15.3 menunjukkan beberapa sinar paralel melewati lensa. Cahaya  $a a'$  melewati tengah lensa, cahaya ini tidak disimpangkan karena muka dan bagian belakang permukaan dari lensa paralel dengan yang lain pada titik dimana cahaya itu memasuki dan meninggalkan lensa. Cahaya  $bb'$  menyimpang ketika melewati prisma dengan sudut  $B$ , dimana  $B$  adalah sudut yang terbentuk antara muka dan belakang permukaan pada, titik dimana sinar  $bb'$  masuk dan keluar. Hal ini sama dengan sinar  $cc'$  yang menyimpang ketika melewati prisma dengan sudut penyimpangannya  $C$ . Karena lekukan dari lensa, sudut deviasi meningkat dengan jarak dari pusat lensa.

Lensa cembung atau disebut juga lensa positif, bentuk dari lensa ini mengakibatkan semua sinar paralel yang melewati titik menyimpang, ditunjukkan pada gambar 15.4. Garis  $C$  yang melalui tengah lensa tegak lurus terhadap bidang lensa dinamakan sumbu optic. Semua sinar tegak lurus dengan sumbu optic disimpangkan sehingga melewati titik  $F'$  dari sumbu optic. Titik  $F'$  adalah titik focus dari lensa, dan jarak dari  $C$  adalah panjang focus  $f$  lensa. Panjang focus adalah karakteristik utama dari lensa.

Sebagai contoh, cahaya dari matahari hampir paralel karena matahari sangat jauh dari bumi. Kemudian semua sinar dari matahari yang masuk ke lensa terfokus pada titik focus.

Jika selembar kertas ditempatkan pada panjang focus dari lensa, cahaya terkonsentrasi pada titik focus akan menghasilkan energi yang cukup untuk membakar kertas.

Penyimpangan dari cahaya tidak memperhatikan dari samping mana sinar itu masuk. Selanjutnya cahaya paralel yang datang dari samping kanan lensa seperti pada gambar 15.4. berpotongan dengan sumbu optik pada titik F, dimana jarak  $f$  ke kiri dari C, sama dengan jarak  $F'$  ke kanan dari C. Konsekuensinya lensa memiliki dua titik focus pada satu sisi. yang merupakan jarak yang sama dari pusat lensa.

Sinar ditentukan melalui alur system optik yang sama bagaimanapun arah gerakan yang melalui system. Prinsip reversibility ini sangat penting untuk analisa system optik. Sebagai contoh, andaikan sumber dari cahaya ditempatkan pada titik focus  $F'$  dari lensa pada gambar 15.4. Karena sinar menyebar pada semua arah dari sumber ini, beberapa sinar akan menerobos lensa dari kiri. Dengan Prinsip dari Reversibility, sinar ini akan muncul paralel terhadap sumbu optik, mengikuti garis edar seperti yang ditunjukkan pada gambar 15.4 tetapi dalam arah balikan. Meskipun kita akan terus meletakkan ujung panah pada sinar untuk kecerahan, haruslah kita ingat bahwa cahaya dapat menyebar pada arah sepanjang sinar.

Sekarang marilah kita lihat aplikasi dari reversibility, kita akan memperkirakan apa yang terjadi pada berkas dari cahaya paralel yang masuk ke lensa dengan sudut  $\theta$  terhadap sumbu optik (gambar 15.5). dari semua sinar yang masuk, ada salah satu sinar yang dinamakan sinar utama, tidak disimpangkan ketika melalui pusat dari lensa. Sinar lain AO melalui bagian depan dari titik focus F dari lensa. Kita tahu bahwa jika sinar BO paralel terhadap sumbu optik dimana sinar masuk pada lensa dari kanan, hal itu akan mengikuti jalur dari AO melalui F. Selanjutnya dengan prinsip reversibility, sinar AO mengikuti jalur OB ke kanan dan bersilangan (berpotongan) sinar utama pada I. Jika sudut  $\theta$  kecil, semua sinar paralel lain yang paralel dengan AO juga akan berpotongan di I.

Segitiga FOC dan IOC pada gambar 15.5, keduanya adalah segitiga dengan sisi yang sama yaitu sisi OC dan dengan sudut yang sama pada F dan I. Selanjutnya segitiga ini kongruen, sehingga jarak IO sama dengan panjang focus CF dari lensa. Ini berarti bahwa I dan F' berada di bidang, dinamakan bidang focus, bahwa bidang ini tegak lurus terhadap sumbu optic pada F'. Semua sinar paralel berada pada titik focus pada bidang ini pada titik dimana posisi tergantung pada sudut sinar yang dibentuk dengan sumbu optic.

## 15.2 GAMBARAN NYATA DAN ONES-LENS INSTRUMENT

Lensa konveks (positif) menghasilkan gambaran nyata dari objek yang jauh didalam bidang focus, jika layer ditempatkan dalam bidang focus, gambar dari objek akan diproyeksikan pada layar. Ini karena semua cahaya yang tiba pada lensa dari titik tunggal dari objek dibawa ke focus pada titik tunggal dalam bidang focus.

Hal ini ditunjukkan dengan jelas pada gambar 15.6. Dibawah normal kuatnya penerangan beberapa titik dari objek secara panjang lebar mencerminkan sinar dalam semua arah. Bagaimanapun jika objek sangat jauh dari lensa, semua sinar pada jangkauan lensa dari titik tunggal point dari objek akan hampir paralel terhadap yang lain sehingga dibawa pada titik focus pada titik tunggal dalam bidang focus. Karena sinar dari titik berbedadari objek membuat perbedaan sudut dengan sumbu optic, sinar – sinar itu focus pada titik – titik yang berbeda dalam bidang focus. Sehingga jika layar ditempatkan di bidang focus, gambaran nyata dari objek diproyeksikan pada layar. Gambar itu dinamakan gambar nyata istimewa dari gambar sebenarnya, yang mana akan didiskusikan pada bagian 15.3

Lensa dapat membentuk gambaran nyata dari objek walaupun objek tidak terletak jauh dari lensa. Faktanya jika objek berada pada jarak yang jauh  $s$  dari lensa (dinamakan jarak objek), terdapat jarak  $s'$  (dinamakan jarak gambar) yang mana gambaran nyata kan dibentuk, dimana  $S$  lebih panjang dibandingkan  $f$ . Jarak gambar dapat diukur dengan mengikuti sepasang sinar dari titik dari objek melalui lensa. Sebagai contoh dengan memperkirakan titik B dari objek seperti dalam gambar 15.7. Karena cahaya dipantulkan dalam semua arah dari titik ini, salah satu dari sinar pergi ke arah lensa, paralel dengan sumbu optic. Konsekuensi, terjadi deviasi oleh lensa sehingga menerobos titik focus  $F'$ ,. Sinar lain dari B masuk menuju pusat C dari lensa dan tidak mengalami

penyimpangan. Perpotongan dari dua sinar ini menentukan titik B' dimana gambar dari B terletak. Gambar dari banyak titik lain dari objek ditemukan sama. Sehingga dengan contoh sederhana ini prosedur grafik, dinamakan tracing ray, dengan tinggi h' dan posisi s' dari gambar dapat ditentukan.

Ray tracing digunakan untuk memahami fungsi dari system lensa, tetapi sering tidak akurat untuk menghitung jarak gambar. Dibawah ini ditunjukkan formula matematis untuk memperoleh s, s' dan f. Formula ini diperoleh dari gambar 15.7 dengan bantuan sedikit geometri.

1. Karena CAB DAN C A'B' adalah segitiga siku – siku yang sama, maka kita dapatkan

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} \text{ ,,,,,,,,,,15.1}$$

2. Karena F'CP dan F'A'B' adalah segitiga siku – siku yang sama maka kita peroleh

$$\frac{h'}{h} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{CF'}}$$

Tetapi jarak  $\overline{CF'}$  adalah panjang focus f, dan jarak  $\overline{F'A'}$  adalah jarak dari s' ke f, sehingga persamaan akhirnya adalah sebagai berikut:

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'-f}{f}$$

3. Dengan menggunakan persamaan 15.1 maka kita peroleh

$$\frac{s'}{s} = \frac{s'-f}{f}$$

Yang mana dengan sedikit manipulasi aljabar maka dapat ditulis menjadi:

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

Formula ini memberi hubungan matematis antara jarak objek s, jarak gambar s' dan panjang focus f.

Ketika panjang obkek s sangat besar, bentuk  $\frac{1}{s}$  mendekati nol dan persamaan 15.2 menjadi

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \text{ atau } s' = f$$

Ini adalah observasi asli: gambar nyata dari objek yang jauh dibentuk pada jarak  $f$  dari lensa. Persamaan 15.2 menunjukkan bahwa ketika objek bergerak ke arah lensa, gambar terbentuk lebih jauh dari lensa.

Sebagai contoh, gambar dari objek pada 100cm didepan lensa dari panjang focus 10 cm terbentuk pada jarak  $s'$ , maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{100\text{cm}} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{10\text{cm}} \quad \text{maka untuk mencari } s' \text{ adalah sebagai berikut:}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{10\text{cm}} - \frac{1}{100\text{cm}} = \frac{9}{100} \text{cm}^{-1} \text{ atau } s' = \frac{100}{9} \text{cm} = 11.1$$

Pada kasus ini, gambar terbentuk 1.1 lebih jauh dari lensa. Jarak gambar akan tetap meningkat jika jarak objek menurun. Sebagai contoh ketika  $s=20\text{cm}$ , jarak gambar adalah  $s'=20\text{cm}$ , dan ketika  $s=11.1\text{cm}$ , jarak gambar  $s'=100\text{cm}$ . Kamu harus memeriksa hasil ini menggunakan persamaan 15.2

Hubungan antara jarak objek dan gambar dapat ditunjukkan dengan grafik hubungan antara jarak objek yang menurun  $\bar{s}$  dengan  $\bar{s}'$ , yang mana jarak objek dan gambar dipisahkan oleh pajnag focus:

$$\bar{s} = \frac{s}{f} \quad \text{dan} \quad \bar{s}' = \frac{s'}{f}$$

Dalam bentuk  $\bar{s}$  dan  $\bar{s}'$ , jarak objek dan gambar adalah

$$s = \bar{s} f$$

Substitusi dari persamaan ini kedalam persamaan 15.2 diberikan

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

Panjang focus  $f$  adalah sama untuk semua bentuk, jadi dapat dihilangkan .

Hasilnya adalah

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

Yang mana terdapat hubungan antara jarak object yang berkurang dengan jarak bayangan. Hubungan ini sangat menarik karena tidak tergantung pada panjang focus

pada lensa. Hubungan yang universal antara  $\bar{s}$  dan  $\bar{s}'$  adalah benar untuk semua lensa positif. Sebagai contoh, ketika  $\bar{s}=3$ ,

persamaan 15.3 memberikan persamaan sebagai berikut:

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

$$\bar{s}' = 1.5$$

Ini berarti bahwa untuk banyak lensa, jika objek terletak 3 panjang focus didepan dari lensa, bayangan terbentuk 1.5 panjang focus dibelakang lensa. Pada kasus khusus jika  $f = 10\text{cm}$ , kemudian  $s=30$  dan  $s'=15\text{cm}$ .

Gambar 15.8 mendemonstrasikan nomor yang merupakan karakteristik penting dari lensa positif.

- 1) Kurvanya adalah simetris terhadap garis lurus dari sumbu (0.0) melalui titik  $\bar{s} = 2$ ,  $\bar{s}' = 2$ . Ini merupakan konsekuensi dari prinsip reversibility, yang mana dikatakan bahwa jika jarak objek  $s$  dari lensa adalah focus di jarak  $s'$ , kemudian jarak objek  $s'$  dari lensa akan focus pada jarak  $s$ .
- 2) Semakin dekat objek ke lensa semakin jauh jarak bayangan ke lensa.
- 3) Jika  $\bar{s} > 2$ , kemudian  $\bar{s}' < 2$ , dan jika  $\bar{s} < 2$ , kemudian  $\bar{s}' > 2$ . Ini berarti bahwa  $s$  dan  $s'$  tidak simultan (serempak) lebih kecil dari  $2f$ , atau bisa juga lebih besar dari  $2f$ .
- 4) Itu sangat tidak mungkin untuk membentuk bayangan nyata jika jarak objek, lebih kecil dari  $f$ , dan dengan prinsip reversibility, tidak pernah ada bayangan nyata yang terbentuk pada jarak kurang dari  $f$ .

Kita sekarang dapat mendiskusikan nomor dari one-lens instrument optic. Instrument ini berbeda dari yang lainnya nilai relative dari  $\bar{s}$  dan  $\bar{s}'$  yang dioperasikan diindikasikan pada gambar 15.8

## Proyektor

Dalam proyektor (gambar 15.9), objek seperti plat kaca transparan, terletak dekat dengan lensa, dan bayangan terbentuk pada jarak yang jauh dari lensa .

Proyektor mengerjakan operasi pada daerah kecil  $\bar{s}$  dan daerah besar  $\bar{s}'$ . Seperti ditunjukkan pada gambar 15.2

Andaikan kaca mikroskop proyektor dengan lensa dari panjang focus  $f=15\text{cm}$  proyeksi bayangan pada layar terletak  $s'=400\text{ cm}$  jaraknya dari lensa. Dimana seharusnya posisi plat kaca?? Dengan  $f=15\text{cm}$  dan  $s'=400\text{cm}$ . persamaan 15.2 memberikan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} = \frac{1}{15\text{cm}} - \frac{1}{400\text{cm}} = \frac{77}{1200} \text{cm}^{-1}$$

$$s = \frac{1200}{77} \text{cm} = 15.6\text{cm}$$

Plat kaca ditempatkan hanya beberapa centimeter di depan titik focus lensa. Ketika proyektor sedang dipusatkan, posisi dari lensa melakukan penyesuaian sampai sesuai jarak  $s$  dari plat kaca. Proyektor dapat membentuk bayangan pada jarak dari 224cm keatas dengan merubah jarak antara lensa dan plat kaca dari 16 ke 15 cm.

Pembesaran  $m$  pada bayangan adalah rasio dari ukuran bayangan  $h'$  terhadap ukuran objek  $h$ .

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

Berdasarkan persamaan 15.1 persamaan menjadi

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

Pada kasus proyektor,  $s$  adalah pendekatan (perkiraan) sama sepadan dengan panjang focus  $f$  lensa, sehingga pembesarannya kira – kira sebagai berikut:

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

Sebagai contoh, pembesaran dari bayangan dibentuk oleh proyektor pada contoh terakhir adalah:

$$m = \frac{400\text{cm}}{15\text{cm}} = 26.7$$

Sehingga, jika objek adalah plat kaca dengan lebar  $h=35\text{mm}$ , lebar  $h'$  dari bayangan pada layer adalah

$$h' = mh = 26.7 \times 3.5\text{cm} = 93.3\text{cm}$$

Ukuran dari bayangan dapat meningkat juga oleh meningkatnya jarak antara proyektor dan layer atau oleh penggunaan lensa dengan panjang focus paling kecil.

### **Kamera**

Mata dan kamera beroperasi pada daerah besar  $\bar{s}$  dan kecil  $\bar{s}'$ , ditunjukkan dengan gambar 15.8. Semua sinar pada jangkauan mata dari titik tunggal dari objek jauh terfokus (terpusat) oleh lensa dari mata ke titik tunggal pada retina (gambar 15.10a), sehingga bayangan inverted nyatadari objek terbentuk pada retina. Retina menutup dengan cahaya sensitive sell yang dapat mengirimkan sinyal ke otak dan otak merespon cahaya yang datang padanya. Karena sinyal ini otak menginterpretasikan gambar, seseorang yang dilihat hanya jika bayangannya berada pada retina.

Lensa dan kamera terpusat pada bayangan dari objek yang jauh ke cahaya film yang sangat sensitive menempel dibagian belakang. Panjang focus dari lensa kamera standar adalah sekitar 50mm, sehingga film sedikitnya harus 50mm pada bagian belakang lensa. Lensa pada kamera yang memiliki focus tetap rendah maksimum berada di jarak  $s'=f$  dari film. Hanya objek jauh yang terpusat di film seperti kamera. Sebagai contoh, objek berada 4cm dari lensa dibawa ke titik focus pada jarak  $s'=50.6\text{mm}$  di belakang lensa. Atau 0.6mm dibelakang film. Bayangan pada film akan berada di focus pada kasus ini, tapi bayangan akan sangat kabur jika objek sangat jauh kurang dari 4m.

Lensa kamera yang lebih tinggi bisa dipindahkan, sehingga jarak dari film dapat disesuaikan untuk mendapat bayangan yang focus pada film. Sebagai



contoh, sebagian besar kamera 35mm dapat focus pada objek yang sangat dekat seperti 0.8m. Dengan lensa 50mm, ini memerlukan bayangan jauh  $s'$  diberikan oleh

$$\frac{1}{80cm} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{5cm}$$
$$s' = 5.33cm$$

Atau

Sehingga kamera dapat focus pada objek pada jarak 0.8 m lebih, jarak lensa dari film antar 5.33 dan 5.00cm

Karena jarak bayangan  $s'$  dalam kamera selalu mendekati  $f$ , pendekatan pembesaran dapat dituliskan sebagai berikut

$$m = \frac{f}{s} \quad \text{kamera}$$

Dan selalu lebih kecil dari 1.

Sebagai contoh, pembesaran terhadap objek 20 m dari lensa 50mm

$$m = \frac{5cm}{2000cm} = \frac{1}{400} = 0.0025$$

Jika objek adalah pria dengan tinggi 6 kaki, tinggi  $h'$  bayangannya pada film adalah

$$h' = hm = 6ft \times 0.0025$$
$$= 0.015ft = 0.46cm$$

Ukuran bayangan juga dapat naik oleh gerakan kamera yang mendekat atau menggunakan lensa dengan panjang focus yang panjang.

### 15.3 BAYANGAN MAYA

Sebuah lensa positif tidak membentuk bayangan nyata dari sebuah objek. Ketika jarak objek lebih kecil dari jarak focus  $f$ , ini dapat dilihat pada gambar 15.13. seperti seluruh sinar yang lain sinar ini menyebar dan meradiasikan dari B, tapi sinar-sinar ini masih meyebar setelah sinar-sinar ini melalui lensa. Sehingga bayangan nyata tidak dibentuk.

Meskipun demikian, jika sinar-sinar difergen ini menyebar dari lensa yang memperluas di belakang lensa. Sinar-sinar ini saling memotong pada titi  $B'$ . ini berarti bahwa sinar yang menyebar muncul dan bersatu pada titik  $B'$  yang berjarak  $s'$  di depan lensa. Begitupun juga setelah melalui lensa, sinar-sinar dari titik-titik yang lain dari objek muncul bersamaan dari titik-titik yang bersesuaian pada garis  $A'B'$ . Yaitu, jika melihat cahaya datannng dari lensa, bayangan dibentuk pada retina adalah sama dengan bayangan yang dibentuk oleh sebuah objek nyata yang tingginya  $h'$  yang bertempat di antara  $A'$  dan  $B'$ . dalam perasaan ini, cahaya yang menyebar dari lensa tersebut untuk membentuk sebuah bayangan maya dari objek pada objek sisi lensa. Ini bukanlah bayangan nyata karena tidak ada cahaya pada posisi bayangan maya dan tidak ada bayangan yang akan dibentuk pada layar.

Bayangan maya pada gambar 15.13 lebih besar dari pada objek itu sendiri dan bayangan ini tidak dibalikkan. Sehingga mata bisa melihat secara tegak pemebasaran bayangan dari objek. Pembesaran  $m=h'/h$  masih sebanding dengan  $s'/s$  bergantung pada jarak  $s$  antara lensa dan objek seperti diberikan oleh persamaan 15.4. meskipun demikian hubungan antara  $s$ ,  $s'$  dan  $f$  tidak lebih diberikan oleh persamaan 15.2. ketika bayangan maya hubungan yang betul adalah

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

Pembesaran bayangan

Pembesaran gelas adalah sebuah lensa konvek yang sederhana yang digunakan untuk memeriksa objek yang kecil. Posisi objek berada pada sisi titik focus lensa seperti pada gambar 15.13 sehingga pembesaran bayangan maya yang tegak dibentuk. Pembesaran  $m=s'/s$  bergantung pada jarak  $s$  antara lensa dan objek. Untuk perhitungan ini biasanya diasumsikan bahwa  $s$  sedemikian sehingga bayangan maya dibentuk 25 cm didepan lensa karena ini adalah sesuai dengan jarak baca pada penglihatan normal.

Gunakan  $s' = 25$  cm gunakan persamaan 15.7 kita dapatkan  $\frac{1}{s} = \frac{1}{25} + \frac{1}{f} = \frac{f+25}{f \times 25}$

$$\text{sehingga } m = \frac{s'}{s} = \frac{25}{s} = \frac{f+25}{f} = 1 + \frac{25}{f}$$

sebagai contoh, kekuatan pemebasaran lensa dengan jarak focus 5 cm adalah

$$m = 1 + \frac{25}{5} = 6$$

Menurut persamaan 15.8 jarak  $s$  dari lensa ke objek adalah

$$\frac{1}{s} = \frac{5 + 25}{5 \times 25} = 0.24 \text{ cm}^{-1}$$

$$s = \frac{1}{0.24 \text{ cm}^{-1}} = 4.16 \text{ cm}$$

Retina pada mata berjarak konstan dibelakang lensa mata, dan objek pada jarak yang berbeda dari mata difokuskan pada retina dengan merubah jarak focus pada lensa. Proses ini disebut akomodasi. Untuk mata normal orang dewasa dapat mengakomodasi objek yang berjarak lebih dari 25 cm dari mata. Tetapi anak-anak dapat memfokuskan objek lebih kecil atau sama dengan 10 cm dari matanya. Tujuan dari lensa ini adalah menghasilkan sebuah bayangan maya pada objek yang berjarak  $s'$  dimana mata dapat mengakomodasinya.

Sebagai contoh taksirlah jarak focus mata seseorang yang memiliki titik dekat 100 cm. jarak focus untuk lensa secara benar akan menghasilkan bayangan maya pada 100 cm dari sebuah objek yang berjarak 25 cm dari lensa ditemukan dari persamaan

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{100} = \frac{3}{100}$$

$$f = 33.3 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan kacamata dari titik focus ini, orang dapat membaca sebuah buku pada jarak mata normal karena setelah melalui gelas, sinar dari sebuah buku berada 25 cm dari mata memiliki penyebaran yang sama seperti sinar –sinar datang dari buku berjarak 100 cm dari mata. Di dalam optometri spesifikasi lensa diberikan oleh  $1/f$  yang disebut kekuatan lensa atau dioptri  $\frac{1}{f} = \frac{1}{0.333} = 3 \text{ meter}$ .

Lensa negative

Sebuah lensa positif selalu menurunkan dari sinar difergen yang melalui lensa. Jika sebuah objek lebih besar dari jarak focus lensa positif. Penyebaran sinar mencapai lensa cukup kecil dari lensa untuk mengkonfeksikannya kedalam cahaya konfeksi membentuk bayangan nyata. Sebuah lensa negative selalu meningkatkan penyebaran sinar yang malauinya. Gambar 15.14 menunjukkan bahwa cahaya-cahaya parallel datang pada lensa negative disebarkan setelah melaluinya. Ketika menyebar kebelakang sinar yang disebarkan ini berpotongan pada titik f yang merupakan titik focus lensa negative. Jarak f dari pusat lensa disebut panjang focus.

Lensa negative selalu membentuk bayangan maya dari objek yang berjarak s dari lensa. Gambar 15.15 jarak bayangan s' diberikan oleh persamaan 15.7 jika jarak focus negative digunakan. Lensa-lensa negative digunakan untuk memperbaiki myopia(rabun dekat). Merupakan kekurangan penglihatan yang mana mata tidak dapat mengakomodasi objek yang berada lebih jauh daripada jarak d(titik jauh). Lensa negative membentuk sebuah bayangan maya. Dengan menggunakan kacamata dengan lensa negative maka jarak focus sebanding dengan d. sebuah bayangan maya dibentuk pada jarak yang mana mata dapat mengakomodasinya.

Sebagai contoh jika titik jauh adalah 250 cm, lensa diperlukan untuk membentuk bayangan pada s'=250 cm ketika s sangat lebar 1/s bernilai 0 pada kasus ini panjang focus diberikan oleh persamaan 15.7 adalah

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} - \frac{1}{250} = -\frac{1}{250}$$

$$f = -250 = -2.5m$$

Kekuatn lensa  $\frac{1}{f} = \frac{1}{-2.5} = -0.4 \text{ dioptri}$

Objektif nya adalah 18 cm. Lalu jarak gambaran s<sub>1</sub>' pada gambar nyata dari objektif adalah

$$s_1' = d - s_2 = 18.00 \text{ cm} - 2.68 \text{ cm} = 15.32 \text{ cm}$$

Jarak benda s<sub>1</sub> sekarang dapat diperoleh dari persamaan 15.2:

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{0.5 \text{ cm}} - \frac{1}{15.32 \text{ cm}} = 1.935 \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{atau } s_1 = \frac{1}{1.935 \text{ cm}^{-1}} = 0.517 \text{ cm}$$

Jarak benda  $s_1$  hanyalah suatu yang kecil lebih besar dari  $f_1$ , sehingga seharusnya  $m_1 = s_1'/s_1$  daripada gambar nyatanya adalah kira-kira

$$m_1 = \frac{s_1'}{f_1} = \frac{15.34 \text{ cm}}{0.5 \text{ cm}} = 30.7$$

Gambar nyatanya lebih besar daripada bendanya dengan factor  $m_1$ , dan gambar sebenarnya lebih besar daripada gambar nyatanya dengan factor  $m_2$ . oleh karena itu, gambar sebenarnya adalah  $M$  lebih besar daripada objeknya, dimana

$$M = m_1 m_2 = \frac{s_1'}{f_1} \left( 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f_2} \right)$$

Ini adalah perbesaran dari mikroskop. Dalam contoh ini dihadirkan

$$M = m_1 m_2 = 30.7 \times 9.3 = 285$$

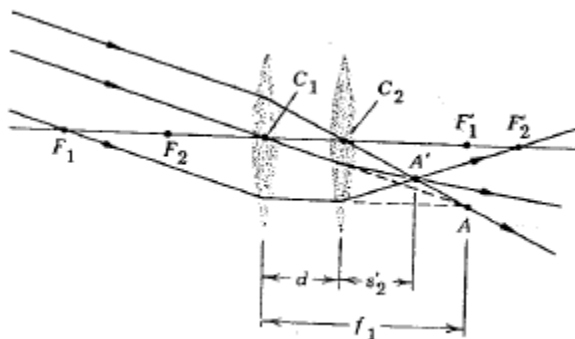
Catatan untuk memberikan perbesaran yang sama, perbesaran satu lensa akan mempunyai fokal panjang yaitu

$$f = \frac{25 \text{ cm}}{284} = 0.088 \text{ cm}$$

Dan bendanya akan mempengaruhinya lebih dari 1 mm dari lensa

### Perpaduan lensa

Dua lensa diletakkan tertutup satu dengan lainnya seperti lensa tunggal. Hampir semua alat optik menggunakan lensa yang sama pada pelajaran ini. Pada mikroskop, sebagai contohnya lensa okuler dan objektif keduanya digabungkan dua atau lebih lensa (gambar 15.16b) untuk menentukan distorsi (aberasi/kecacatan) dihasilkan oleh lensa tunggal.



Gambar 15.18 menunjukkan kejadian sinar paralel pada dua lensa dari focus  $f_1$  dan  $f_2$ , yang dipisahkan oleh jarak  $d$  yang lebih kecil dari  $f_1$ . Kemudian, sinar itu tiba ke lensa 2 sebelum ke focus bidang lensa 1. ketidakhadiran lensa 2, sinar akan lewat melalui pusat  $C_1$  dan didepan titik  $F_1$  dari lensa 1 akan diteruskan ke focus titik A pada bidang fokal lensa 1. Akibatnya lensa 2 akan dibelokkan sinar selanjutnya, jadi akan mengenai focus pada titik  $A'$ , tertutup lensa 1.

Untuk lokasi  $A'$ , catatan pertama bahwa sinar itu adalah paralel untuk sumbu optik antara lensa 1 dan lensa 2 akan lewat melalui fokal titik  $F_2'$  pada lensa 2. kedua, dalam ketidakhadiran lensa 2 adalah sinar akan diteruskan melalui titik  $C_2$  dari A. Tetapi sinar ini tidak dipengaruhi oleh kehadiran lensa 2 karena sinar itu lewat melalui titik pusat. Akibatnya, akan saling berpotongan pada kedua sinar pada  $A'$  ditentukan posisi dari bidang fokal dari kedua sistem lensa ini.

Konstruksi grafik menunjukkan bahwa jarak fokal  $f$  dari kedua lensa bersama-sama saling menghilangkan satu sama lain. Persamaan 15.2 dapat digunakan untuk menentukan  $f$  dengan catatan bahwa gambar akan ditunjukkan oleh lensa 1 sendiri seperti objek untuk lensa 2. ketika gambar ini dengan jarak  $s_2 = f_1 - d$  dibelakang lensa 2, harus berharga negatif dalam persamaan 15.2. dengan pengertian bahwa, jarak  $s_2'$  dari lensa 2 pada gambar yang ditunjukkan diberikan oleh:

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

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

Jika jarak antara kedua lensa sangat kecil ( $d = 0$ ), akan menjadi

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Dimana kita menyatakan  $s_2'$  sama dengan  $f$  karena sinar yang ditembakkan pada sistem yang paralel.

Persamaan 15.11 digunakan oleh optometris yang sesuai dengan kacamata. Ia mengatur kekuatan dari lensa kombinasi dengan menambahkan atau mengurangi lensa dalam sistem ini.

Sebagai contohnya, 0.50 m lensa dikombinasikan dengan lensa 0.75 m yang mempunyai jarak fokal

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{0.50\text{ m}} + \frac{1}{0.75\text{ m}} = 2.0\text{ m}^{-1} + 1.33\text{ m}^{-1} \\ &= 3.33\text{ m}^{-1} \\ f &= 0.30\text{ m}\end{aligned}$$

Optometris bekerja dengan kekuatan  $1/f$  dari lensa, lebih baik daripada dengan jarak fokal  $f$ , karena kekuatan dari lensa dikombinasikan dengan memberikan tambahan sederhana pada kekuatan masing-masing lensa. Dalam contoh ini, kekuatan dari kedua lensa adalah 2 dan 1.33 diopti, dan gabungan keduanya mempunyai kekuatan 3.33 dioptri.

### **Teleskop**

Sebuah teleskop adalah alat dengan dua lensa yang dirancang untuk perbesaran objek. Kedua lensa, dengan jarak fokal  $f_1$  dan  $f_2$ , dipisahkan dengan jarak  $d = f_1 + f_2$ , jadi bidang fokal belakang dari lensa 1 dan bidang fokal depan adalah lensa 2 secara bersamaan (gambar 15.19). Sinar dari titik pada objek adalah paralel ketika mencapai depan lensa (objektif) dan diteruskan ke focus pada titik bidang fokal. Ketika bidang fokal dari lensa kedua (okuler), sinar ini akan paralel setelah muncul dari lensa 2. Persiapan ini dikatakan afocal karena sinar paralel ditembakkan pada sistem ini, muncul sebagai sinar paralel.

Gambar 15.19 menunjukkan sinar yang masuk ke sistem dari atas sumbu optik muncul dari bawah sumbu itu. Meskipun, seorang pengamat melihat sinar paralel yang muncul pada okuler akan terlihat terbalik pada objek. Jika  $f_2 < f_1$ , dengan sudut  $\alpha'$  pada sinar yang muncul lebih besar daripada sudut  $\alpha$  ketika sinar ditembakkan. Ini mempunyai akibat dari perbesaran gambar terlihat melalui alat.

Perbandingan  $\alpha'/\alpha$  dari sudut ini dinyatakan sama dengan perbandingan  $(\tan \alpha')/(\tan \alpha)$ . Tetapi dari gambar 15.19 akan didapat

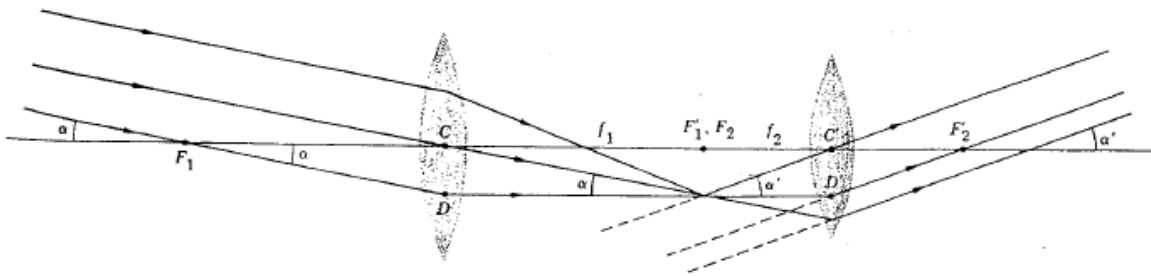
$$\tan \alpha = \frac{\overline{DC}}{f_1}$$

$$\tan \alpha' = \frac{\overline{D'C'}}{f_2} = \frac{\overline{DC}}{f_2}$$

Hasilnya, sudut perbesaran  $\alpha$  dari teleskop adalah

$$\alpha = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{\overline{DC} / f_2}{\overline{DC} / f_1} = \frac{f_1}{f_2}$$

Luas perbesaran yang diinginkan sangat panjang dengan jarak fokal objektif, itu mengapa teleskop dirancang panjang.



Gambar 15.19

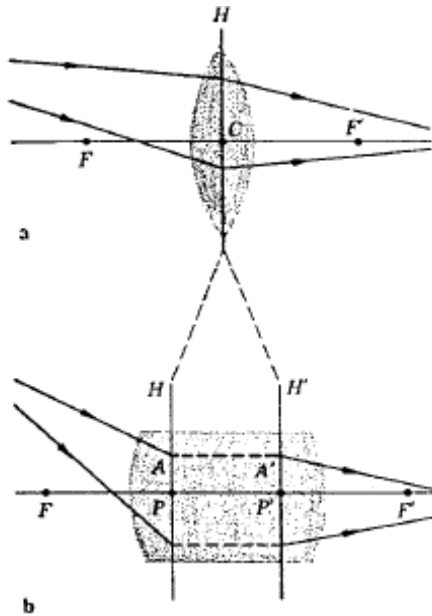
Telskop optik. Bentuk objektif gambar nyata dari jarak benda pada depan titik fokal pada okuler. Ketika sinar muncul dari okuler adalah paralel, sinar yang dimunculkan dari jarak sebenarnya pada gambar. Bagaimanapun, ketika sudut  $\alpha'$  lebih besar daripada  $\alpha$ , jarak dari gambar akan lebih kecil dari jarak objek.

## 15.5 KETEBALAN LENSA

Teori optik telah didiskusikan sejak dulu tentang ketebalan lensa dengan ketebalannya  $t$  lebih kecil dari jarak fokal  $f$ . Sebuah lensa yang tidak benar dikenal dengan ketebalan lensa. Teori ketebalan lensa ini adalah terusan dari teori tipisnya lensa dan komplikasinya, tetapi ketika mata terdiri dari ketebalan lensa, akan diketahui dari teori ketebalan lensa yang seharusnya diketahui oleh manusia. Selanjutnya, dapat ditunjukkan bahwa sistem berbagai lensa seperti mikroskop, dapat terdiri dari ketebalan lensa tunggal untuk tujuan analisis. Dengan demikian, teori tentang ketebalan lensa yang mempunyai rentang lebar dari aplikasi. Dasarnya berbeda antara ketipisan lensa dan ketebalan lensa ditunjukkan dalam gambar 15.20. Dengan ketipisan lensa, sinar dianggap berefraksi pada bidang tunggal  $H$  tegak lurus pada sumbu optik dan lewat melalui pusat  $C$  pada lensa.



Dengan ketipisan lensa, sinar yang dianggap refraksi oleh dua bidang, H dan H', tegak lurus dengan sumbu optik dan lewat melalui titik utama P dan P' pada sumbu optik. Bidang ini disebut bidang utama dari lensa. Gambar 15.20b menunjukkan sinar yang saling tumpangtindih pada bidang utama depan H pada titik A yang dianggap refraksi dari A' pada bidang belakang H'. Titik A' ditemukan dengan menggambar garis paralel ke sumbu optik A ke bidang H'.



Titik utama P dan P' masih pada lensa dan untuk kombinasi lensa. Titik itu dapat dilokasikan dengan pengukuran atau dengan menghitung. Satu kali posisi dari titik utama dan titik fokal sebuah lensa atau sistem lensa yang diketahui, gambar menunjukkan dengan objek dapat ditemukan oleh metode umum dari sinar bayangan. Ini ditunjukkan dalam gambar 15.21 sebuah sinar dimunculkan dari objek paralel untuk sumbu optik refraksi pada bidang utama belakang H' dengan lewat melalui titik fokal belakang F'. Sinar yang muncul dari objek dan lewat melalui titik fokal depan F muncul dari bidang belakang yang paralel pada sumbu optik. gambar ditentukan oleh tumpang tindih dari kedua sinar. Catatan bahwa sinar refraksi pada titik dibelakang bidang utama berjarak sama dari sumbu optik pada titik dimana sinarnya tumpang tindih pada bidang utama depan.

Kelebihan lensa optik tergantung pada medium yang digunakan. Jika medianya didepan dan dibelakang lensa akan sama, sistemnya mempunyai kelebihan khusus.

1. Jarak  $f'$  ujung titik fokal  $F'$  dari ujung bidang utama  $H'$  akan sama dengan jarak  $f$  dari titik fokal depan  $F$  ke bidang depan utama.
2. Seberkas sinar lewat melalui titik depan utama  $P$  pada sudut sumbu optik yang muncul dari titik belakang utama  $P'$  pada sudut yang sama  $\alpha$  untuk sumbu optik. (Seperti seberkas sinar yang disebut sinar utama, dalam analogi untuk sinar yang lewat melalui pusat  $C$  dari lensa tipis).
3. Jika jarak objek  $s$  diukur dari bidang utama depan dan jarak gambar  $s'$  diukur dari ujung bidang utama, jarak ini dihubungkan dengan persamaan 15.2, dan perbesarannya diberikan oleh persamaan 15.4

Kelebihan ini diilustrasikan dalam gambar 15.22, yang ditunjukkan sebuah sistem lensa dengan jarak fokal  $f = 5$  cm dan terpisah sejauh 3 cm antara bidang utama. Gambar dari lokasi objek berjarak  $s = 8$  cm didepan dari bidang utama depan ditentukan oleh bayangan sinar 1 dan 2, seperti gambar 15.21. Sinar utama kemudian digambarkan dari titik objek  $P$ , dan titik  $P'$  untuk gambar. Sudut  $\alpha$  dan  $\alpha'$  ini kedua garis dibuat dengan sumbu optik yang terlihat sama, sesuai dengan syarat ke 2. Jarak  $s'$  gambar dari ujung bidang utama ditemukan dari diagram menjadi 1.33 cm. Nilai ini juga dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 15.2 dari persamaan 15.4 dengan perbesaran  $m = s'/s = 1.66$ , dengan perbandingan  $h'/h$  ditentukan dari sinar diagram.



Mata manusia, ditunjukkan dalam gambar 15.23, terdiri dari 2 lensa tipis, kornea dan lensa kristal, ditempelkan dalam fluida (vitrela) dengan indek refraksi 1.34. Gambar 15.24 menunjukkan lokasi bidang utama dari sistem optik yang berhubungan dengan mata. Ketika media depan dan belakang dari sistem lensa berbeda, tiga kelebihan khusus telah disebutkan diatas. Dalam bagian tertentu, jarak fokal depan  $f$  tidak sama dengan ujung jarak fokal  $f'$ . Gambar 15.24 ditunjukkan bahwa jarak fokal depan adalah 1.70 cm dan ujung jarak fokal 2.27 cm. Ujung titik fokal  $F'$  dilokasikan pada retina sebab menghubungkan fokus mata objek pada retina.

Ketika bidang utama dari mata hanya terpisah 0.03 cm, secara praktis tujuannya dapat diperlakukan seperti bidang tunggal. Bidang ini muncul secara bersamaan pada skala diagram yang ditunjukkan dalam gambar 15.25, yang menunjukkan gambar dari objek dapat ditemukan dengan menggunakan metode sinar bayangan normal. Hanya perbedaan dari metode yang digunakan untuk lensa tipis pada titik fokal F dan F' tidak berjarak sama dari bidang utama dan sinar tidak lewat melalui titik utama P tidak menyimpang.

Di sana ada suatu pemimpin sinar, atau tidak menyimpang, sinar untuk mata, seperti yang ditunjukkan di dalam gambar 15.25. Sinar ini tumpang tindih poros yang berhubungan dengan mata di titik N, yang disebut titik simpul, 0,60 cm dibelakang bidang utama (gambar 15.25). Titik simpul, seperti titik-api dan titik utama, adalah suatu titik tetap dari sistim yang berhubungan dengan mata, tidak terikat pada posisi-posisi obyek dan gambaran, setiap sinar yang diarahkan terhadap titik simpul muncul dari sistim yang terhubung tidak menyimpang dengan mata.

Karena kelebihan ke 3 tidak diterapkan untuk mata, magnifikasi gambar tidak diberikan oleh persamaan 15.4. Ukuran gambar ditentukan dengan menggantikan dari posisi ke titik simpul. Dari gambar 15.25 terlihat bahwa tiga titik NAB dan NA'B' adalah sebangun, jadi perbandingan ukuran gambar untuk ukuran objek adalah

$$\frac{h'}{h} = \frac{\overline{A'N}}{\overline{AN}} = \frac{s'-0.6\text{ cm}}{s+0.6\text{ cm}}$$

Mata beristirahat disesuaikan untuk fokus jarak objek pada retina dengan jarak  $s'=2.30$  cm dari bidang utama. Dengan begitu magnifikasi diberikan oleh

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{1.70\text{ cm}}{s}$$

Dengan 0.6 cm dengan penyebutnya dihilangkan karena sangat kecil dibandingkan dengan s.

Sebagai contoh, dengan menganggap seorang laki-laki melihat seorang wanita 1.6 m tingginya dengan 5 cm jauhnya. Berapa ukuran gambarnya pada retina mata laki-laki itu? Dari persamaan 15.12 kita dapatkan

$$m = \frac{1.70\text{ cm}}{500\text{ cm}} = 0.0034$$

Jadi

$$h' = mh = 0.0034 \times 1.6 \text{ m} = 0.00544 \text{ m} = 5.44 \text{ mm}.$$

