

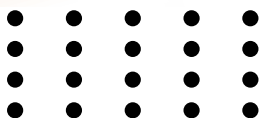
FISIKA OPTIK UMUM DAN MATA



**Ratnadewi
Erwin Randjawali
Zahriah
Zulkarnaini**

**Rusydi
Rianto Wibowo
Rasydah Nur Tuada**

**Nurlina
Nursakinah Annisa Lutfin
Fathan Mubina Dewadi**



FISIKA OPTIK UMUM DAN MATA

**Ratnadewi
Erwin Randjawali
Zahriah
Zulkarnaini
Rusydi
Rianto Wibowo
Rasydah Nur Tuada
Nurlina
Nursakinah Annisa Lutfin
Fathan Mubina Dewadi**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

FISIKA OPTIK UMUM DAN MATA

Penulis :

Ratnadewi
Erwin Randjawali
Zahriah
Zulkarnaini
Rusydi
Rianto Wibowo
Rasydah Nur Tuada
Nurlina
Nursakinah Annisa Lutfin
Fathan Mubina Dewadi

ISBN : 978-623-198-152-3

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.
Ilda Melisa, A.Md.,Kep

Penyunting : Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat

Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id

Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Maret 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Fisika Optik Umum dan Mata ini.

Buku ini membahas Indeks bias cahaya, Cermin datar, Cermin cekung, Cermin cembung, Lensa, Pembiasan, Prisma, Difraksi, Interferensi, Aberasi.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Maret 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 INDEKS BIAS CAHAYA	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Reversibilitas sinar cahaya.....	6
1.3 Indeks bias	8
1.4 Total pantulan internal.....	13
DAFTAR PUSTAKA.....	18
BAB 2 CERMIN DATAR.....	19
2.1 Pendahuluan.....	19
2.2 Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar	19
2.3 Pembentukan Bayangan pada Cermin Datar	21
2.4 Sifat-Sifat Bayangan pada Cermin Datar	24
2.5 Pemanfaatan Cermin Datar.....	25
DAFTAR PUSTAKA.....	27
BAB 3 CERMIN CEKUNG	29
3.1 Pendahuluan.....	29
3.2 Karakteristik Cermin Cekung	30
3.3 Bagian-bagian Cermin Cekung.....	32
3.4 Konsep Sinar Istimewa pada Cermin Cekung.....	33
3.4.1 Hukum Snellius.....	33
3.4.2 Konsep Garis Normal	33
3.4.3 Sinar-sinar Istimewa Cermin Cekung.....	34
3.5 Hubungan Jarak Fokus (f) dengan Jarak Benda (s) dan Jarak Bayangan (s').....	36
3.6 Perbesaran Bayangan pada Cermin Cekung.....	36
3.7 Sifat-sifat Bayangan Cermin Cekung.....	37
3.7.1 Benda berada di ruang I (di antara O dan F)	37
3.7.2 Benda berada tepat di titik fokus (F)	38

3.7.3 Benda berada di ruang II (diantara F dan M).....	38
3.7.4 Benda berada di titik pusat kelengkungan cermin (M)	39
3.7.5 Benda berada di ruang III (di antara M dan $\sim$)	40
3.8 Menentukan Letak dan Sifat Bayangan Cermin Cekung.....	40
3.8.1 Menggunakan penomoran ruang	40
3.8.2 Menggunakan metode hasil perhitungan	42
3.9 Cacat Bayangan pada Cermin Cekung	42
3.10 Pemecahan Masalah yang Berkaitan dengan Cermin Cekung	43
DAFTAR PUSTAKA.....	49
BAB 4 CERMIN CEMBUNG	51
4.1 Pendahuluan.....	51
4.2 Cermin Cembung	51
4.3 Sifat Cermin Cembung dan Bagian-Bagiannya	56
4.4 Konstruksi Posisi dan Perbesaran Bayangan Cermin Cembung.....	57
4.5 Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung	58
4.6 Contoh Aplikasi Konsep	67
4.7 Penggunaan Untuk Cermin Cembung.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	72
BAB 5 Lensa.....	73
5.1 Pendahuluan.....	73
5.2 Apa itu Lensa?	74
5.3 Kegunaan Lensa.....	76
5.4 Pembiasan Pada Lensa	77
5.5 Lensa Cekung (Lensa Divergen)	78
5.6 Lensa Cembung (Lensa Konvegen).....	81
5.6.1 Lensa cembung membentuk bayangan nyata.....	83
5.6.2 Cara menggambar diagram sinar lensa cembung....	87
5.7 Persamaan pada Lensa.....	87
5.8 Kekuatan Lensa.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	90

BAB 6 PEMBIASAN	91
6.1 Pendahuluan.....	91
6.2 Indeks Bias.....	92
6.2.1 Indeks bias Mutlak.....	92
6.2.2 Indeks Bias Relatif.....	93
6.3 Pembiasan.....	93
6.3.1 Hukum Snellius.....	94
6.3.2 Pembuktian Hukum Snellius	95
6.4 Jarak Bayangan Pada Pembiasan.....	98
6.5 Pemantulan Internal Total.	99
DAFTAR PUSTAKA.....	102
BAB 7 PRISMA	103
7.1 Spektrum Cahaya Pada Prisma.....	103
7.2 Pembiasan Pada Prisma.....	105
7.3 Indeks Bias Prisma.....	112
DAFTAR PUSTAKA.....	114
BAB 8 DIFRAKSI	115
8.1 Tentang Difraksi	115
8.2 Prinsip Huygens dan Difraksi	118
8.3 Difraksi oleh Celah Tunggal atau Piringan	120
8.4 Kisi Difraksi	127
DAFTAR PUSTAKA.....	130
BAB 9 INTERFERENSI.....	131
9.1 Interferensi Cahaya.....	131
9.2 Beda Fase dan Koherensi	132
9.3 Interferensi Celah Ganda.....	133
9.4 Interferensi Pada Lapisan Tipis.....	137
9.5 Interferometer Michelson.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	143
BAB 10 ABERASI	145
10.1 Pendahuluan.....	145
10.2 Tentang iAberasi	148
10.3 Persamaan iterkait iAberasi	149

10.4 Soal-Soal iLatihan.....	151
DAFTAR PUSTAKA.....	153
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Pembiasan dan pantulan sinar yang diarahkan pada permukaan air	2
Gambar 1.2 : Pengukuran (a) sudut pantul dan (b) sudut bias.....	3
Gambar 1.3 : (a,b) Pantulan dan (c,d) pembiasan. Jika $i_2=r_1$, maka $r_2=i_1$	7
Gambar 1.4 : Indeks bias relatif untuk dua media.....	10
Gambar 1.5 : Distribusi intensitas radiasi dan indeks bias pada sinar laser (a) sebelum masuk cuvette, (b)dekat sisi masuk, (c) di tengah cuvette, (d) dekat sisi luar	12
Gambar 1.6 : Total pantulan internal: sudut datang berhubungan dengan sudut pantul dan sudut bias.....	14
Gambar 1.7 : Jalur pantulan sinar pada (a) prisma gelas (b)tabung plastik bengkok (c)bumbung cahaya	17
Gambar 2.1 : Ilustrasi hukum pemantulan cahaya	21
Gambar 2.2 : Ilustrasi pemantulan pada cermin datar	22
Gambar 2.3 : Ilustrasi pembentukan bayangan pada cermin datar bagi pemudi dengan tinggi 164cm	24
Gambar 3.1 : Reflektor lampu kendaraan menggunakan cermin cekung	29
Gambar 3.2 : Kaca mulut yang digunakan dokter gigi merupakan cermin cekung	30
Gambar 3.3 : Ilustrasi pemantulan cahaya pada cermin cekung.....	31
Gambar 3.4 : Bagian-bagian cermin cekung	32
Gambar 3.5 : Bagian dalam bola diibaratkan sebagai permukaan cermin cekung	33

Gambar 3.6 : Ilustrasi sinar istimewa pertama.....	34
Gambar 3.7 : Ilustrasi sinar istimewa kedua.....	35
Gambar 3.8 : Ilustrasi sinar istimewa ketiga.....	35
Gambar 3.9 : Benda di ruang I bayangan terbentuk di ruang IV	37
Gambar 3.10 : Benda terletak di titik fokus.....	38
Gambar 3.11 : Benda di ruang II bayangan terbentuk di ruang III	39
Gambar 3.12 : Benda di titik pusat kelengkungan bayangan sama besar	39
Gambar 3.13 : Benda di ruang III bayangan terbentuk di ruang II.....	40
Gambar 3.14 : Aberasi sferis	42
Gambar 4.1 : Cermin Cembung.....	52
Gambar 4.2 : Berkas-Berkas Yang Datang Sejajar Pada Cermin Cembung Dipantulkan Seakan- Akan Bersumber Dari Suatu Titik 0 yang Dekat Dengan Titik Fokus 1.....	53
Gambar 4.3 : Cermin Cembung Akan Menyebarkan Sinar Pantul	54
Gambar 4.4 : Sinar Datang Sejajar Dengan Sumbu Utama Akan Dipantulkan Seolah-olah Dari Titik Fokus.....	55
Gambar 4.5 : Sinar Datang Menuju Titik Fokus Akan Dipantulkan Sejajar Sumbu Utama.....	55
Gambar 4.6 : Sinar Datang Menuju Titik M (Titik Pusat Kelengkungan) Akan Dipantulkan Seolah-olah Dari Titik Itu Juga.....	56
Gambar 4.7 : Cermin Cembung.....	56
Gambar 4.8 : Konstruksi Posisi dan Perbesaran Bayangan Cermin Cembung.....	57

Gambar 4.9 : Simbol Ilustrasi Ketiga Jenis Cermin: Cermin Cekung (+), Cermin Datar (0), dan Cermin Cembung (-)	58
Gambar 4.10 : Pembentukan Bayangan Oleh Cermin Cembung Dengan Benda Terletak Pada Ruang I (E), II (F), Dan III (G).....	59
Gambar 4.11 : Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung.....	60
Gambar 4.12 : Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung Dalam Bentuk Lain	61
Gambar 4.13 : Cermin Cembung.....	62
Gambar 4.14 : Tiga Sinar Istimewa Pada Cermin Cembung.....	62
Gambar 4.15 : Benda Terletak Di Depan Cermin Cembung.....	63
Gambar 4.16 : Ilustrasi Cermin Cembung.....	64
Gambar 4.17 : Penomoran Ruangan Benda dan Bayangan Pada Cermin Cembung.....	65
Gambar 4.18 : Contoh Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung	67
Gambar 4.19 : Cermin Keamanan Toko	70
Gambar 4.20 : Kaca Spion Samping	70
Gambar 4.21 : Sebuah Cermin Keamanan Pada Sebuah Anjungan Tunai Mandiri.....	71
Gambar 5.1 : Beberapa bentuk terkait kedua lensa konvergen dan divergen	73
Gambar 5.2 : Pembiasan pada Lensa Cebung.....	74
Gambar 5.3 : Berkas cahaya dan bayangan Lensa Cembung.....	74
Gambar 5.4 : Berkas Cahaya pada Lensa Cekung.....	75
Gambar 5.5 : Bayangan benda pada Lensa Cekung	75
Gambar 5.6 : Lensa Cembung dan Lensa Cekung	76
Gambar 5.7 : Bayangan pada lensa.....	77

Gambar 5.8 : Pembiasan pada lensa cembung 1.....	77
Gambar 5.9 : Pembiasan pada lensa cembung 2	78
Gambar 5.10 : Pembiasan pada lensa cekung.....	78
Gambar 5.11 : Lensa Cembung menyebarkan berkas cahaya dibiaskan (divergen).....	79
Gambar 5.12 : Lensa Cembung membentuk bayangan tegak dan diperkecil.....	79
Gambar 5.13 : Menggambar berkas cahaya pada lensa cembung	80
Gambar 5.14 : Lensa Cekung berakibat berkas cahaya dibiaskan konvergen	81
Gambar 5.15 : Kaca Pembesar (Lup)	82
Gambar 5.16 : Bayangan yang terbentuk pada Lensa Cembung.....	83
Gambar 5.17 : Menggambar bayangan dari benda Pada lensa cembung	85
Gambar 6.1 : Pembiasan Pada Batas Bidang Air dan Udara	94
Gambar 6.2 : Arah sinar dari medium n_1 ke medium n_2	95
Gambar 6.3 : Pembuktian hukum Snellius.....	97
Gambar 6.4 : Pembentukan bayangan dasar kolam.....	98
Gambar 6.5 : Peristiwa Pemantulan Internal Total	110
Gambar 7.1 : Newton mendemonstrasikan spectrum sinar matahari dengan prisma	103
Gambar 7.2 : Spektroskop akhir abad ke-19 milik Gustav Kirchhoff	104
Gambar 7.3 : Variasi indeks bias dengan panjang gelombang vakum untuk tiga bahan	105
Gambar 7.4 : Sebuah prisma membiaskan sinar cahaya dengan panjang gelombang tunggal melalui sudut.....	106
Gambar 7.5 : Pembiasan cahaya pada prisma	107

Gambar 7.6 : Lintasan sinar matahari melalui tetesan air hujan berbentuk bola. Cahaya yang mengikuti jalur ini berkontribusi pada pelangi yang terlihat.....	109
Gambar 7.7 : Terbentuknya pelangi terlihat oleh seorang pengamat yang berdiri dengan Matahari di belakang punggungnya.....	110
Gambar 7.8 : (a) Cahaya yang masuk melalui salah satu sisi pendek prisma $45^0 - 45^0 - 90^0$ dipantulkan seluruhnya. (b) Cahaya yang masuk melalui sisi panjang prisma dipantulkan seluruhnya	111
Gambar 7.8 : Sinar cahaya melewati prisma dengan sudut simpangan minimum δ_{min}	112
Gambar 8.1 : (a) Jika gelombang cahaya tidak menyebar setelah melewati celah, tidak akan terjadi interferensi. (b) Gelombang cahaya dari dua celah bertumpang tindih saat mereka menyebar, mengisi daerah yang kita perkirakan akan dibayangi dengan cahaya dan menghasilkan pinggiran interferensi	116
Gambar 8.2 : Cahaya dari sumber kecil melewati tepi objek buram.	117
Gambar 8.3 : Pola difraksi dibuat oleh iluminasi satu sen, dengan sen diposisikan di tengah antara layar dan sumber cahaya.....	118
Gambar 8.4 : Jika AB diketahui, prinsip Huygens digunakan untuk menentukan muka gelombang CD	119

Gambar 8.5 : Prinsip Huygens konsisten dengan difraksi melalui (a) di sekitar sisi penghalang, (b) lubang besar, (c) lubang kecil yang ukurannya dalam orde panjang gelombang.	119
Gambar 8.6 : Jika cahaya merupakan gelombang, titik yang terang akan muncul di tengah bayangan piringan padat yang diterangi oleh sumber titik cahaya monokromatik.....	120
Gambar 8.7 : Pola difraksi dari (a) piringan (uang logam), (b) gunting, (c) suatu celah tunggal, masing-masing diterangi oleh sumber cahaya monokromatik (yang hampir berupa titik)	122
Gambar 8.8 : (a) Pola difraksi celah tunggal seperti yang diamati pada layar jauh, (b) Plot intensitas versus $\sin \theta$ untuk pola pada Gambar 8.8a ...	123
Gambar 8.9 : Sebuah celah tunggal diwakili oleh sejumlah besar sumber titik dengan amplitudo yang sama	125
Gambar 8.10 : Jarak y_1 diukur sepanjang layar dari pusat maksimum ke minimum difraksi pertama yang terhubung ke sudut θ_1 oleh $\tan \theta_1 = y_1/L$, dimana L adalah jarak ke layar	126
Gambar 8.11 : Tampak samping kisi difraksi. Pemisahan celah adalah d , dan beda lintasan antara celah-celah yang berdekatan adalah $d \sin \theta$.	128
Gambar 9.1 : Gelembung Sabun Berwarna.....	131
Gambar 9.3 : Percobaan Thomas Young.....	134
Gambar 9.4 : Model Geometri Percobaan Young	135
Gambar 9.5 : Pola Interferensi Pada Lapisan Tipis (a) Gelembung Sabun, (b) Air Sabun, (c) Minyak.....	138

Gambar 9.5 : Interferensi Pada Lapisan Tipis	139
Gambar 9.6 : Interferometer Michelson	141
Gambar 10.1 : Arah Cahaya Memantulkan Cermin	145
Gambar 10.2 : Jenis-Jenis Berkas Cahaya	147
Gambar 10.3 : Difraksi Cahaya	142
Gambar 10.4 : Aberasi Kromatik	151

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 : Sebagian energi cahaya pantulan dengan berbagai sudut datang pada permukaan kaca	5
Tabel 1.2 : Sebagian energi cahaya pantulan dengan berbagai sudut datang pada permukaan air	6
Tabel 1.3 : Indeks bias dari berbagai zat relatif terhadap udara	10
Tabel 1.4 : Sebagian energi pantulan untuk berbagai sudut datang dari propagasi cahaya dari gelas ke udara.....	15
Tabel 1.5 : Sudut kritis dari total pantulan internal pada batas dengan udara (dalam derajat)	16
Tabel 3.1 : Letak benda berdasarkan penomoran ruang.....	41
Tabel 3.2 : Letak benda, letak bayangan, dan sifat bayangan yang dibentuk cermin cekung.....	41
Tabel 5.1 : Bentuk bayangan pada lensa cekung	80
Tabel 5.2 : Pembentukan bayangan benda pada lensa cembung	83
Tabel 5.3 : Bayangan yang terbentuk pada lensa cembung	86
Tabel 6.1 : Nilai indeks bias mutlak medium.....	92

BAB 1

INDEKS BIAS CAHAYA

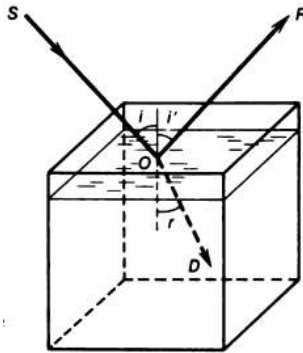
Oleh Ratnadewi

1.1 Pendahuluan

Dalam bab ini, akan dibahas kasus ketika permukaan benda rata. Contoh permukaan datar adalah antarmuka antara udara dan cairan dalam bejana lebar. Pemolesan padatan yang tepat juga menghasilkan permukaan datar yang cukup sempurna, di antaranya permukaan logam dibedakan oleh kemampuannya untuk memantulkan banyak cahaya. Kaca digunakan untuk mendapatkan pelat datar yang dapat dilapisi dengan lapisan logam untuk mendapatkan cermin konvensional.

Berikut eksperimen sederhana, cahaya diarahkan pada permukaan air di bejana besar (Gambar 1.1). Kemudian terlihat bahwa cahaya sebagian terpantul dari permukaan air, sementara sebagian cahaya lainnya akan mengalir dari udara ke air. Keadaan sinar yang dipantulkan atau ditransmisikan akan terlihat jika di atas bejana sedikit ditaburi (misalnya dengan asap) dan sejumlah kecil sabun dilarutkan dalam air untuk membuatnya sedikit keruh. Eksperimen menunjukkan bahwa sinar yang ditransmisikan melalui air disebut dibiaskan.

Dalam analisis fenomena ini, akan menarik, pertama, dalam arah sinar yang dipantulkan dan dibiaskan, dan kedua, dalam sebagian energi cahaya yang dipantulkan dan sebagian energi yang ditransmisikan dari medium pertama ke medium kedua.



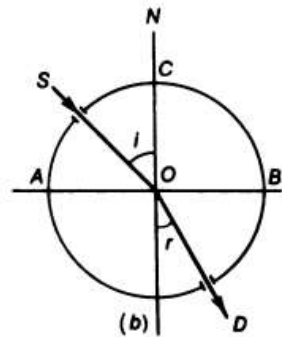
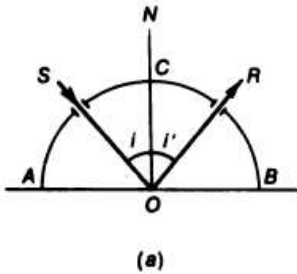
Gambar 1.1 : Pembiasan dan pantulan sinar yang diarahkan pada permukaan air
Sumber : (Landsberg, 1989)

Pertama mari diamati sinar yang dipantulkan. Di sini antarmuka permukaan silinder ACB akan ditutupi oleh kertas tebal atau cermin (Gambar 1.2(a)). Sepanjang busur ACB, dibuat lubang kecil terpisah, katakanlah pada i° . Maka sinar melewati satu lubang S ke pusat O dan setelah pantulan, sinar akan melalui lubang simetris R dengan sudut i° yang sama dengan sudut masuk terhadap garis normal N.

Pada Gambar 1.2(b), sudut r° yang dibentuk oleh sinar yang dibiaskan D dan normal N dapat diukur dengan cara yang sama seperti yang digunakan untuk sudut pantulan. Untuk tujuan ini, permukaan silinder ACB harus diperluas ke medium kedua. Pengukuran akurat dari sinus sudut datang dibagi dengan sinus sudut bias dinyatakan melalui hubungan berikut:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad (1.1)$$

dengan indeks bias n adalah konstanta, i adalah sudut datang dan r sudut bias yang ditentukan oleh sifat optik media yang bersentuhan.



Gambar 1.2 : Pengukuran (a) sudut pantul dan (b) sudut bias
Sumber : (Landsberg, 1989)

Sudut i , i' dan r adalah sudut datang, sudut pantul dan sudut bias diukur dari normal ke sinar yang sesuai.

Upaya pertama untuk menetapkan hukum pembiasan dilakukan oleh astronom Alexandrian yang terkenal Claudius Ptolemy (meninggal sekitar tahun 168 A.D.) hampir dua ribu tahun yang lalu.

Namun, keakuratan pengukuran tidak cukup tinggi pada waktu itu, dan Ptoleme menarik kesimpulan bahwa rasio sudut datang dan sudut bias bernilai konstan untuk media yang diberikan. Perlu dicatat bahwa untuk mendapatkan perbandingan yang benar antara sudut datang dan sudut bias, sudut ini harus diukur dalam beberapa menit. Ini sangat penting untuk sudut datang dan pembiasan yang kecil. Dalam bentuk yang benar, hukum pembiasan ditetapkan hanya satu setengah ribu tahun kemudian oleh ahli matematika Belanda Willebrod van Roijen Snell (1591-1626) dan, tampaknya, oleh ahli fisika Prancis dan matematika Rene Descartes (1596-1650) secara independen.

Sekarang mari dipertimbangkan jumlah energi cahaya yang dipantulkan. Gambar wajah seseorang di cermin yang baik diketahui lebih terang daripada di permukaan air danau atau

sumur. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tidak seluruh energi cahaya datang pada permukaan antara dua media: bagian cahaya menembus permukaan ke media kedua dan melewati itu atau sebagian diserap oleh media.

Sebagian energi cahaya yang dipantulkan tergantung pada sifat optik media kontak dan pada sudut datang. Jika, misalnya, cahaya datang pada pelat kaca di sudut kanan ke permukaan (sudut datang adalah nol), hanya sekitar 5% dari energi cahaya yang terpantul, sementara 95% melewati permukaan. Ketika sudut datang membesar, bagian energi yang dipantulkan meningkat. Tabel 1.1 menunjukkan, dengan cara contoh, bagian energi yang dipantulkan pada sudut yang berbeda dari cahaya datang pada permukaan kaca udara ($n = 1,555$). Tabel 1.2 berisi data serupa untuk permukaan air-udara ($n = 1.333$).

Menyimpulkan bagian tersebut, harus ditetapkan bahwa hukum pantul dan bias hanya valid jika permukaan jauh lebih besar dari panjang gelombang cahaya. Misalnya, cermin kecil bertindak sebagai aperture kecil, satu-satunya perbedaan adalah bahwa cermin mengubah arah sinar datang di atasnya. Jika ukuran cermin lebih kecil dari 0,01 mm, sifat gelombang cahaya menjadi terlihat seperti halnya jalan cahaya melalui lubang yang sangat kecil. Dalam hal ini, sinar cahaya menyimpang pada refleksi, perbedaan menjadi semakin kuat, semakin kecil ukuran cermin. Hal yang sama berlaku untuk balok yang dibiaskan. Penjelasan fenomena ini akan diberikan dalam bab yang dikhususkan untuk difraksi cahaya.

Tabel 1.1 : Sebagian energi cahaya pantulan dengan berbagai sudut datang pada permukaan kaca

Sudut datang	Sebagian energi pantulan (dalam %)	Sebagian energi yang dilewatkan (dalam %)
0°	4.7	95.3
10°	4.7	95.3
20°	4.7	95.3
30°	4.9	95.1
40°	5.3	94.7
50°	6.6	93.4
60°	9.8	90.2
70°	18	82
80°	39	61
89°	91	9
90°	100	0

Sumber: (Landsberg, 1989)

Tabel 1.2 : Sebagian energi cahaya pantulan dengan berbagai sudut datang pada permukaan air

Sudut datang	Sebagian energi pantulan (dalam %)	Sebagian energi yang dilewatkan (dalam %)
0°	2.0	98.0
10°	2.0	98.0
20°	2.1	97.9
30°	2.2	97.8
40°	2.5	97.5
50°	3.4	96.6
60°	6.0	94.0
70°	13.5	86.5
80°	34.5	65.5
89°	90.0	10.0
90°	100	0

Sumber: (Landsberg, 1989)

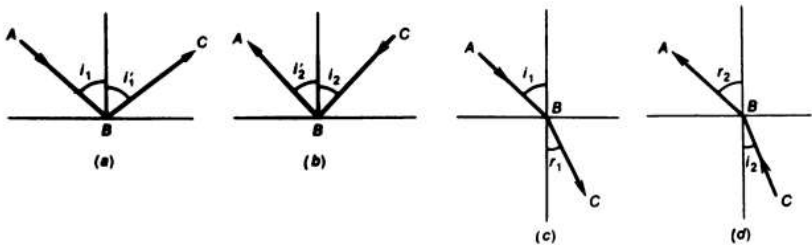
1.2 Reversibilitas sinar cahaya

Saat menganalisis di bagian sebelumnya, fenomena diamati ketika cahaya datang pada permukaan antara dua media, diasumsikan bahwa cahaya merambat ke arah tertentu yang ditunjukkan oleh panah dalam Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.

Sekarang mari dilihat apa yang terjadi ketika cahaya merambat ke arah sebaliknya. Untuk kasus refleksi, ini berarti bahwa cahaya datang diarahkan bukan dari kiri dan ke bawah

seperti pada Gambar 1.3(a), tetapi dari kanan dan ke bawah seperti pada Gambar 1.3(b).

Untuk kasus pembiasan, kita akan mempertimbangkan penyebaran cahaya bukan dari medium pertama ke medium kedua seperti pada Gambar 1.3(c), tetapi dari medium kedua ke medium pertama seperti pada Gambar 1.3(d).



Gambar 1.3 : (a,b) Pantulan dan (c,d) pembiasan . Jika $i_2=r_1$, maka

$$r_2=i_1$$

(Sumber : (Landsberg, 1989))

Pengukuran yang akurat menunjukkan bahwa baik untuk pantulan/refleksi dan pembiasan/refraksi, sudut antara sinar dan normal ke permukaan tetap tidak berubah, dan hanya arah panah yang terbalik. Oleh karena itu, jika sinar datang di sepanjang CB (lihat Gambar 1.3(b)), sinar yang dipantulkan akan merambat di sepanjang BA, yaitu sinar datang dan sinar pantul telah berubah tempat dibandingkan dengan kasus sebelumnya. Hal yang sama diamati untuk pembiasan sinar cahaya. Biarkan AB menjadi sinar datang dan BC sinar yang dibiaskan (lihat Gambar 1.3(c)). Jika cahaya datang di sepanjang CB (lihat Gambar 1.3(d)), sinar yang dibiaskan akan menyebar di sepanjang BA, yaitu sinar datang dan sinar yang dibiaskan telah berubah tempat.

Dengan demikian, baik dalam pantulan dan pembiasan, cahaya dapat mengikuti jalur yang sama di arah yang berlawanan (Gambar 1.3). Sifat cahaya ini dikenal sebagai reversibilitas sinar cahaya.

Reversibilitas sinar cahaya menunjukkan bahwa jika indeks bias adalah n untuk transisi dari media pertama ke medium kedua untuk transisi terbalik, maka akan menjadi $1/n$. Memang, biarkan cahaya datang pada sudut i dan dibiaskan pada sudut r sehingga $n = \sin i / \sin r$. Jika untuk arah sebaliknya, cahaya datang adalah pada sudut r , ia harus dibiaskan pada sudut i (reversibilitas). Dalam kasus seperti itu, indeks bias $n' = \sin r / \sin i$, dan karenanya $n' = 1/n$. Misalnya, ketika cahaya mengalir dari udara ke kaca, $n = 1.50$, sedangkan untuk transisi balik dari kaca ke udara, $n' = 0.67 = 1/1.50$. Reversibilitas sinar cahaya diawetkan dalam berbagai refleksi dan refraksi yang mungkin terjadi dalam urutan apa pun. Ini mengikuti dari fakta bahwa dalam setiap pantulan atau pembiasan, arah sinar cahaya dapat dibalik.

Dengan demikian, jika sinar cahaya yang muncul dari sistem apa pun yang memantulkan dan membiaskan media tercermin pada tahap terakhir tepat di arah mundur, ia akan melewati seluruh sistem dalam arah sebaliknya dan kembali ke sumbernya.

Reversibilitas sinar cahaya dapat dibuktikan secara teoritis dari hukum pantulan dan pembiasan tanpa menggunakan eksperimen baru.

1.3 Indeks bias

Mari dipertimbangkan secara lebih rinci konsep indeks bias yang diperkenalkan dalam Subbab 1.2. Saat merumuskan hukum pembiasan.

Indeks bias tergantung pada sifat optik medium yang ditembus cahaya. Indeks bias yang diperoleh ketika cahaya mulai dari vakum ke dalam medium dikenal sebagai indeks bias absolut untuk media tertentu.

Biarkan indeks bias absolut dari media pertama menjadi m dan medium kedua n . Mempertimbangkan pembiasan pada permukaan antara media pertama dan kedua, dapat dipastikan

bahwa indeks bias n untuk transisi dari media pertama ke media kedua (indeks bias relatif) sama dengan rasio indeks bias absolut dari media kedua dan media pertama:

$$n = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.2)$$

(Gambar 1.4). Sebaliknya, saat cahaya merambat dari medium kedua ke media pertama, indeks bias relatif adalah

$$n' = \frac{1}{n} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.3)$$

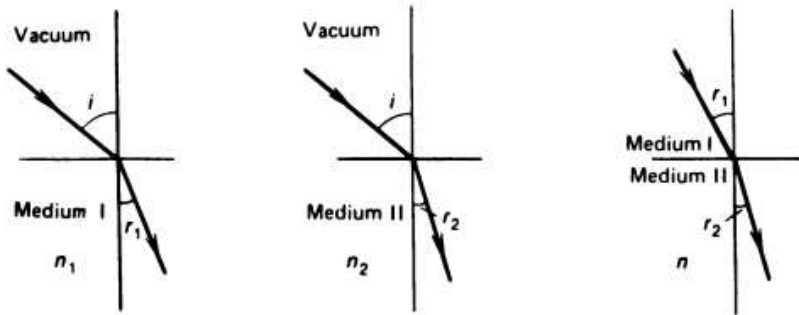
Hubungan antara indeks bias relatif ini untuk dua media dan indeks bias absolutnya dapat diturunkan secara teoritis tanpa eksperimen baru dengan cara yang sama seperti yang dapat dilakukan untuk prinsip reversibilitas (lihat subbab 1.2).

Media yang memiliki indeks bias yang lebih besar disebut sebagai media yang lebih padat secara optik. Indeks bias berbagai media biasanya ditentukan relatif terhadap udara. Indeks bias absolut dari udara adalah 1,003. Dengan demikian, indeks bias absolut dari suatu media dihubungkan dengan indeks biasnya relatif terhadap udara (FLREI) melalui rumus:

$$n_{abs} = n_{air} \cdot n_{rel} = 1.003n_{rel} \quad (1.4)$$

Tabel 1.3 berisi indeks bias relatif yang ditentukan untuk beberapa kasus pembiasan cahaya pada permukaan antara udara dan media yang sesuai.

Indeks bias tergantung pada panjang gelombang cahaya, yaitu warnanya. Indeks bias yang berbeda sesuai dengan warna yang berbeda. Fenomena ini, yang dikenal sebagai dispersi, memainkan peran penting dalam optik.



Gambar 1.4 : Indeks bias relatif untuk dua media
Sumber : (Landsberg, 1989)

$$n_1 = \frac{\sin i}{\sin r_1}, \quad n_2 = \frac{\sin i}{\sin r_2}, \quad n = \frac{\sin r_1}{\sin r_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Tabel 1.3 : Indeks bias dari berbagai zat relatif terhadap udara

Cairan		Padatan	
zat	n	zat	n
Carbon disulphide	1.632	Diamond	2.417
Ethyl alcohol	1.362	Glass (heavy flint)	1.80
Glycerine	1.47	Glass (light crown)	1.57
Liquid helium	1.028	Ice	1.31
Liquid hydrogen	1.12	Ruby	1.76
Air	1.333	Sugar	1.56

Sumber: (Landsberg, 1989)

Data yang terkandung dalam Tabel 1.3 mengacu pada lampu kuning. Sangat menarik untuk dicatat bahwa hukum pantulan dapat secara resmi ditulis dalam bentuk yang sama dengan hukum pembiasan. Untuk mengukur sudut dari normal ke

sinar yang sesuai. Akibatnya, sudut datang i dan sudut pantul i' harus diambil dengan tanda-tanda yang berlawanan. Maka hukum pantulan harus ditulis dalam rumus

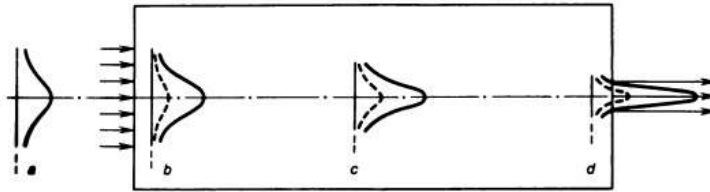
$$\frac{\sin i}{\sin i'} = -1 \quad (1.5)$$

Membandingkan rumus ini dengan hukum pembiasan, kita melihat bahwa hukum pantulan dapat diperlakukan sebagai kasus khusus hukum pembiasan untuk $n = -1$. Kesamaan formal dari hukum pantulan dan pembiasan ini sangat berguna untuk menyelesaikan masalah praktis.

Dalam analisis di atas, indeks bias dianggap sebagai konstanta yang mengkarakterisasi media dan tidak tergantung pada intensitas cahaya yang merambat melalui itu. Interpretasi indeks bias seperti itu cukup alami, tetapi tidak dapat dibenarkan untuk intensitas radiasi yang tinggi yaitu dengan laser modern. Dalam hal ini, sifat-sifat media yang dilaluinya tergantung pada intensitas radiasi yaitu cahaya dengan radiasi optik berdaya tinggi. Media ini dikatakan menjadi nonlinier. Nonlinier medium dimanifestasikan, khususnya, dalam kenyataan bahwa gelombang cahaya intensitas tinggi mengubah indeks bias di dalamnya. Ketergantungan indeks bias pada intensitas radiasi j memiliki bentuk

$$n = n_0 + aj \quad (1.6)$$

Di sini tidak ada indeks bias biasa dan aj adalah indeks bias nonlinier, di mana a adalah faktor proporsionalitas. Istilah tambahan dalam rumus bisa positif atau negatif.



Gambar 1.5 : Distribusi intensitas radiasi dan indeks bias pada sinar laser (a) sebelum masuk cuvette, (b)dekat sisi masuk, (c) di tengah cuvette, (d) dekat sisi luar
Sumber: (Landsberg, 1989)

Variasi relatif dari indeks bias relatif kecil. Untuk $J = 10^{12} \text{W/m}^2$, indeks bias nonlinier $\Delta n = 10^{-5}$. Namun, bahkan variasi kecil dari indeks bias terlihat: mereka dimanifestasikan dalam efek aneh dari fokus pada seberkas cahaya. Mari dipertimbangkan media dengan indeks bias nonlinier positif.

Dalam hal ini, daerah dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi pada saat yang sama adalah daerah dari peningkatan indeks bias. Dalam radiasi laser, distribusi intensitas cahaya biasanya tidak seragam: intensitas maksimum pada sumbu dan terus ke batas balok (kurva padat pada Gambar 1.5). Distribusi seperti itu juga menjelaskan variasi indeks bias di atas penampang cuvette yang mengandung media nonlinier dengan balok laser yang merambat di sepanjang porosnya. Indeks bias maksimum pada sumbu kuvet dan berkurang dengan lancar ke dindingnya (kurva putus-putus pada Gambar 1.5).

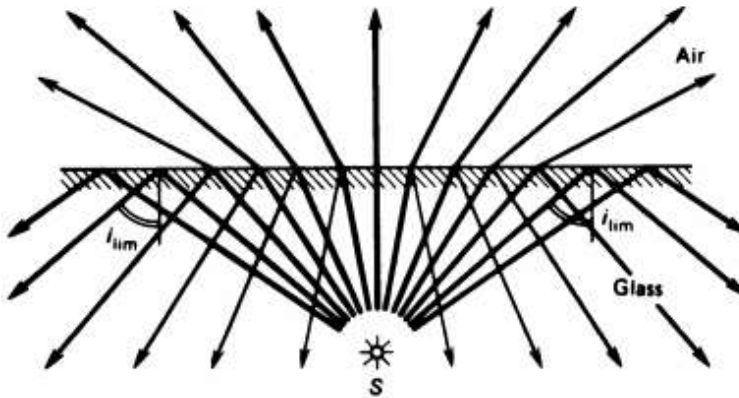
Saat menembus media dengan indeks bias n , sinar yang dipancarkan oleh laser yang sejajar dengan sumbu dibelokkan ke nilai n yang lebih tinggi. Oleh karena itu, intensitas yang lebih tinggi di dekat sumbu cuvette mengarah ke konsentrasi sinar cahaya di wilayah ini yang ditunjukkan secara skematis di bagian b dan c pada Gambar 1.5. Ini mengarah pada peningkatan lebih lanjut pada n . Pada akhirnya, penampang efektif dari sinar cahaya yang

melewati media nonlinier sangat berkurang. Cahaya mengalir seolah-olah di sepanjang saluran sempit dengan indeks bias yang lebih tinggi. Oleh karena itu, balok laser, dan media nonlinier beroperasi di bawah pengaruh radiasi intensitas tinggi sebagai lensa konvergen. Fenomena ini dikenal sebagai fokus pada diri sendiri. Dapat diamati, misalnya, dalam nitrobenzene cair.

1.4 Total pantulan internal

Itu disebutkan dalam subbab 1.2 bahwa ketika cahaya datang pada permukaan antara dua media, energi cahaya terbagi menjadi dua bagian: satu bagian terpantul, sedangkan bagian lain menembus permukaan ke dalam medium kedua (Lanchester, 2014). Mempertimbangkan contoh perambatan cahaya dari udara ke kaca, yaitu menuju media yang lebih padat secara optik, kami belajar bahwa sebagian energi yang dipantulkan tergantung pada sudut datang. Dalam hal ini, sebagian energi yang dipantulkan meningkat tajam terhadap sudut datang. Namun, bahkan pada sudut datang yang sangat besar mendekati 90° , ketika cahaya hampir tergelincir di sepanjang permukaan, bagian dari energi cahaya masih masuk ke media kedua (lihat subbab 1.2, Tabel 1.1 dan 1.2).

Fenomena baru yang menarik diamati jika cahaya merambat dalam media adalah cahaya datang pada permukaan antara media pertama dan media lain yang lebih sedikit padat, yaitu yang memiliki indeks bias absolut yang lebih kecil. Dalam hal ini, sebagian energi yang dipantulkan meningkat dengan sudut kejadian, tetapi peningkatan ini mematuhi hukum lain: mulai dari nilai tertentu dari sudut datang, seluruh energi cahaya terpantul dari permukaan. Fenomena ini dikenal sebagai pantulan internal total.



Gambar 1.6 : Total pantulan internal: sudut datang berhubungan dengan sudut pantul dan sudut bias
 Sumber: (Landsberg, 1989)

Mari kita pertimbangkan lagi, seperti pada subbab 1.3, cahaya datang pada permukaan gelas udara. Biarkan cahaya datang dari kaca pada permukaan dengan sudut yang berbeda (Gambar 1.6). Jika kita mengukur fraksi energi bercahaya yang dipantulkan dan fraksi energi bercahaya yang ditransmisikan melalui permukaan, kita memperoleh nilai yang dikompilasi dalam Tabel 2.4 (seperti pada Tabel 1.4, indeks refraktif kaca adalah $n = 1,555$). Nilai i_{cr} dari sudut kejadian mulai dari mana seluruh energi bercahaya tercermin dari antarmuka disebut sudut kritis refleksi internal total. Untuk tingkat kaca yang dikompilasi Tabel 1.4 ($n = 1,555$), sudut kritis kira-kira sama dengan 40° .

Perhatikan fakta bahwa ketika cahaya datang pada permukaan pada sudut kritis, sudut bias adalah 90° . Dengan kata lain, dalam rumus

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} \quad (1.7)$$

Tabel 1.4 : Sebagian energi pantulan untuk berbagai sudut datang dari propagasi cahaya dari gelas ke udara

Sudut datang i	Sudut bias r	Sebagian energi yang dilewatkan (dalam %)
0°	0°	4.7
10°	15°40′	4.7
20°	32°	5.0
30°	51°	6.8
35°	63°	12
38°	73°20′	23
39°	79°	36
39°30′	82°	47
40°	90°	100
50°	-	100
60°	-	100
70°	-	100
80°	-	100

Sumber: (Landsberg, 1989)

Mengekspresikan hukum bias untuk kasus yang sedang dipertimbangkan, kita harus menempatkan $r = 90^\circ$ atau $\sin r = 1$ untuk $i = i_{cr}$. Karenanya kami mendapatkan

$$\sin i_{cr} = \frac{1}{n} \quad (1.8)$$

Untuk sudut datang yang melebihi i_{cr} , sinar tidak dibiaskan sama sekali. Secara formal, ini mengikuti dari fakta bahwa untuk sudut datang yang lebih besar dari i_{cr} , nilai-nilai yang diperoleh untuk $\sin r$ dari hukum pembiasan lebih besar dari satu, yang jelas tidak mungkin.

Tabel 1.5 berisi sudut kritis dari pantulan internal total untuk beberapa zat yang indeks biasnya diberikan dalam Tabel 1.3 Validitas relasi (rumus(1.8) mengikuti dari tabel ini).

Tabel 1.5 : Sudut kritis dari total pantulan internal pada batas dengan udara (dalam derajat)

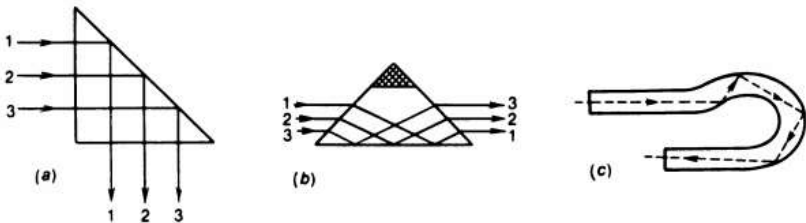
zat	i_{cr}	zat	i_{cr}
Carbon disulphide	38	Diamond	24
Glycerine	43	Glass (heavy flint)	34
Air	49	Glass (light crown)	40

Sumber: (Landsberg, 1989)

Pantulan internal total dapat diamati pada batas-batas gelembung udara dalam air. Mereka bersinar karena sinar matahari datang pada mereka benar-benar terpantul, tanpa menembus gelembung. Ini terutama terlihat untuk gelembung udara yang selalu ada pada tangkai bunga dan daun rumput laut dan ketika diamati dalam sinar matahari, tampak seolah-olah terbuat dari perak, ini adalah reflektor cahaya yang baik.

Total pantulan internal digunakan dalam konstruksi kaca yang memantulkan dan membentuk prisma. Pengoperasian prisma ini dijelaskan oleh Gambar 1.7. Sudut kritis untuk prisma adalah 35° - 40° tergantung pada indeks bias dari tingkat kaca yang digunakan. Oleh karena itu, sudut datang dan kemunculan sinar cahaya dapat dengan mudah dipilih untuk prisma tersebut. Pantulan prisma berhasil memainkan peran cermin dan lebih

disukai karena sifat pemantulannya tetap tidak berubah, sementara cermin logam menjadi kusam seiring waktu karena oksidasi logam. Perlu dicatat bahwa membentuk prisma lebih sederhana dalam konstruksi daripada dengan sistem cermin. Prisma digunakan, khususnya, dalam periskop (Aieta *et al.*, 2012).



Gambar 1.7 : Jalur pantulan sinar pada (a) prisma gelas (b) tabung plastik bengkok (c) bumbung cahaya

Sumber: (Landsberg, 1989)

DAFTAR PUSTAKA

- Aieta, F. *et al.* 2012. 'Reflection and refraction of light from metasurfaces with phase discontinuities', *Journal of Nanophotonics*, 6, pp. 063532:1–9. doi:10.1117/1.
- Lanchester, P.C. 2014. 'Studies of the reflection, refraction and internal reflection of light', *Physics Education*, 49(5), pp. 532–536. doi:10.1088/0031-9120/49/5/532.
- Landsberg, G.S. 1989. *Elementary textbook on physics*. Mir Publishers Moscow.

BAB 2

CERMIN DATAR

Oleh Erwin Randjawali

2.1 Pendahuluan

Pemantulan cahaya merupakan salah satu fenomena yang dipelajari dalam fisika. Dalam hal ini, diabaikan peristiwa difraksi yang terjadi di sekitar sudut oleh karena gelombang cahaya memiliki panjang yang sangat kecil bila dibandingkan dengan lubang maupun penghalang. Pada fenomena tersebut juga digunakan pendekatan gelombang cahaya sebagai pendekatan sinar dengan asumsi bahwa gelombang cahaya merambat dengan menempuh garis lurus (Giancoli, 2001; Tipler, 2001). Peristiwa pemantulan cahaya maupun jenis gelombang lainnya terjadi pada saat gelombang tersebut mengenai permukaan sebuah penghalang datar. Salah satu contoh penghalang yang digunakan adalah cermin (Tipler, 2001). Cermin memiliki bentuk permukaan yang halus, serta memantulkan cahaya pada sudut tertentu (Lyublinskaya *et al.*, 2017). Terdapat beberapa jenis cermin yakni cermin datar, cermin cembung, dan cermin cekung. Akan tetapi, bab ini akan berfokus dalam membahas tentang cermin datar. Selain itu, dalam bab ini juga akan membahas beberapa konsep yang terkait dengan cermin datar seperti pemantulan cahaya pada cermin datar, pembentukan bayangan, serta contoh-contoh pemanfaatan cermin datar.

2.2 Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar

Pada saat cahaya mengenai sebuah permukaan, maka dapat terjadi beberapa peristiwa seperti pemantulan, pembiasan, dan lain-lain. Dengan demikian, tidak seluruh cahaya yang mengenai

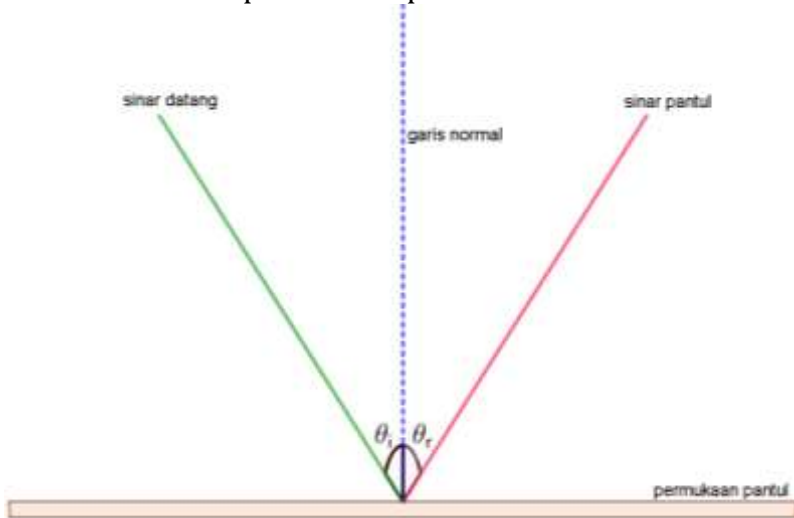
permukaan benda dipantulkan. Sebagian dari cahaya tersebut diserap oleh benda dan diubah menjadi bentuk lainnya, misalnya menjadi energi panas. Sebagian lagi dari cahaya tersebut dibiaskan apabila cahaya tersebut mengenai permukaan yang transparan misalnya air, kaca, dan lain-lain. Persentase cahaya yang dipantulkan apabila mengenai permukaan yang sangat mengkilat adalah 95% (Giancoli, 2001).

Terdapat dua jenis pemantulan yang disebabkan oleh perbedaan jenis permukaan pantul, yakni (Giancoli, 2001; Tipler, 2001):

1. **Pemantulan spekuler**, yakni pemantulan cahaya yang terjadi ketika cahaya mengenai permukaan yang licin. Contohnya adalah peristiwa pemantulan pada cermin. Dengan demikian, pemantulan pada cermin datar terkategori sebagai pemantulan spekuler.
2. **Pemantulan difusi**, yakni pemantulan cahaya yang terjadi ketika cahaya mengenai permukaan yang kasar. Contohnya adalah pemantulan cahaya pada permukaan halaman buku. Pemantulan tersebut tidak menghasilkan bayangan. Hal ini karena sinar-sinar yang diterima oleh mata berasal dari berbagai sinar pantul yang berbeda dari permukaan buku tersebut.

Gambar 2.1 menunjukkan pemantulan yang terjadi pada saat sebuah berkas sinar mengenai permukaan yang rata. Pada saat seberkas sinar datang dengan sudut datang θ_i mengenai permukaan yang rata, berkas sinar tersebut dipantulkan dengan sudut pantul θ_r . Besar sudut pantul tersebut sama dengan sudut datang (Lyublinskaya *et al.*, 2017). Hal ini dikenal sebagai hukum pemantulan (Tipler, 2001). Sudut datang yang dimaksudkan di sini adalah sudut yang dibentuk antara sinar datang dengan sebuah garis khayal yang tegak lurus dengan permukaan benda (garis normal). Sedang sudut pantul adalah sudut yang dibentuk antara

sinar pantul dengan garis normal (Giancoli, 2001). Hukum pemantulan tersebut pun berlaku pada cermin datar.



Gambar 2.1 : Ilustrasi hukum pemantulan cahaya (Giancoli, 2001; Lyublinskaya *et al.*, 2017; Tipler, 2001)

2.3 Pembentukan Bayangan pada Cermin Datar

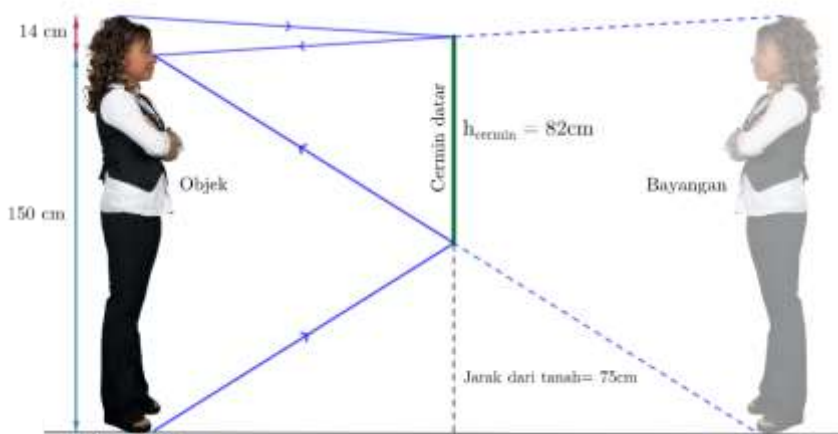
Cermin datar sering dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari. Namun, apabila seseorang ingin melihat bayangannya secara keseluruhan, akan terdapat beberapa pertanyaan yang dapat ditimbulkan, seperti: Berapakah tinggi cermin datar yang diperlukan? Jika cermin tersebut diletakkan secara vertikal, berapakah jarak ujung cermin datar tersebut dari lantai?

Hal ini dapat dijawab melalui ilustrasi berikut ini. Misalkan seorang pemuda memiliki tinggi H , dan diasumsikan bahwa mata pemuda tersebut berada pada jarak c dari ujung kepalanya. Jarak antara mata pemuda tersebut dengan lantai adalah h . Dengan demikian $H=h+c$. Pembentukan bayangan pemuda tersebut pada cermin datar diilustrasikan pada gambar berikut ini.

Selanjutnya, ditinjau berkas cahaya datang dari ujung kepala (VU) yang dipantulkan cermin datar sehingga menghasilkan berkas cahaya pantul (UT). Dengan cara yang sama dapat diketahui bahwa panjang UD sama dengan setengah dari c atau $UD = \frac{c}{2}$.

Hal ini berarti bahwa sisi bagian atas cermin akan berada pada $\frac{c}{2}$ dari ujung kepala pemudi tersebut. Penggunaan cermin datar untuk melihat bayangan tubuh secara keseluruhan tidak dipengaruhi oleh jarak objek tersebut terhadap cermin. Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa diperlukan cermin datar dengan tinggi setengah dari tinggi objek tersebut (Giancoli, 2001).

Sebagai contoh, misalkan pemudi tersebut memiliki tinggi 164cm. Apabila pemudi tersebut ingin melihat bayangan tubuhnya secara keseluruhan, maka cermin datar yang digunakan memiliki tinggi setengah dari tinggi pemudi tersebut yakni 82cm. Selanjutnya, apabila mata pemudi tersebut berada pada jarak 14cm dari ujung kepalanya, maka jarak sisi cermin bagian bawah dari lantai adalah $\frac{164-14}{2} = 75 \text{ cm}$. Hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Ilustrasi pembentukan bayangan pada cermin datar bagi pemudi dengan tinggi 164cm (Giancoli, 2001; Tipler, 2001)

2.4 Sifat-Sifat Bayangan pada Cermin Datar

Berikut ini adalah beberapa sifat bayangan pada cermin datar.

1. Bayangan yang dihasilkan merupakan maya. Gambar 3.2 menunjukkan bahwa garis putus-putus yang terdapat pada belakang cermin merupakan berkas-berkas sinar yang dipantulkan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa berkas sinar pantul seolah-olah berasal dari belakang cermin, dan selanjutnya diterima oleh mata. Padahal, berkas-berkas sinar tersebut sesungguhnya tidak melalui tempat bayangan tersebut. Oleh karena itu, bayangan yang terbentuk disebut sebagai bayangan maya. Bayangan maya yang terbentuk pada cermin datar tidak dapat terlihat pada kertas maupun film yang diletakkan pada tempat di mana bayangan tersebut berada (Giancoli, 2001; Lyublinskaya et al., 2017).
2. Ukuran bayangan yang terbentuk pada cermin datar sama dengan ukuran benda yang diletakkan di depan cermin.

Sebagai contoh, apabila seseorang bercermin di depan cermin datar, maka ukuran bayangan yang terbentuk sama dengan ukuran tubuhnya. Akan tetapi, karena terjadinya pembalikan kedalaman, maka objek di depan cermin dibalik dari kanan ke kiri. Dengan demikian, tangan kanan orang yang berada di depan cermin akan terlihat sebagai tangan kiri pada bayangan di cermin datar (Lyublinskaya et al., 2017; Tipler, 2001).

2.5 Pemanfaatan Cermin Datar

Cermin datar pada umumnya digunakan di rumah ketika seseorang berdandan. Namun, cermin datar memiliki kegunaan lainnya yang diimplementasikan dalam teknologi. Berikut ini adalah beberapa pemanfaatan cermin datar.

1. Reflektor Panel Surya

Salah satu hasil penelitian menunjukkan bahwa cermin datar dapat dipergunakan sebagai reflektor panel surya. Dalam penelitian tersebut disebutkan bahwa tegangan terbesar diperoleh pada jam 10.30. Pada saat tersebut diperoleh tegangan sebesar 19.27 volt ketika melakukan penambahan reflektor, sedangkan tanpa penambahan reflektor diperoleh tegangan 18.98 volt (Priahandoko, 2014). Meskipun demikian, terdapat hasil penelitian lainnya yang menyebutkan bahwa daya yang dihasilkan melalui penambahan reflektor cermin datar lebih kecil dibandingkan dengan penambahan reflektor cermin cekung. Hal tersebut disebabkan oleh sifat dari cermin cekung yang membuat sinar pantul terfokus (Setiawan, Yuningtyastuti, & Handoko, 2015).

2. Kompor Tenaga Matahari

Cermin datar dapat digunakan untuk membuat sebuah kompor tenaga matahari. Potongan-potongan

cermin datar tersebut ditempelkan pada sebuah parabola untuk menghasilkan sebuah cermin cekung (Subarjo, Mardwianta, & Wicaksono, 2019). Penelitian lainnya menyebutkan bahwa cermin datar digunakan sebagai reflektor pada kompor matahari yang berbentuk *file box* (Wicaksono, 2011).

3. Konsentrator pada Alat Pengering

Alat pengering tenaga surya menggunakan cahaya matahari untuk mengeringkan bahan berupa hasil perkebunan, perikanan, dan lain-lain. Sebuah hasil penelitian menunjukkan bahwa cermin datar dapat dipergunakan sebagai konsentrator pada alat pengering kerupuk (Burlian & Firdaus, 2011).

4. Digunakan untuk Membuat Periskop

Cermin datar dapat digunakan untuk membuat periskop sederhana. Hal ini tentu saja sangat bermanfaat bagi sekolah yang memiliki keterbatasan alat peraga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periskop sederhana yang dibuat dengan menggunakan cermin datar, pipa PVC, dan pipa L tersebut dapat digunakan untuk melihat benda dengan jelas sejauh mata memandang. Bayangan objek yang terbentuk adalah sama besar, tegak, dan maya. Panjang fokusnya adalah setengah dari jarak benda (Doyan & Ratnasari, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Burlian, F., & Firdaus, A. 2011. Kaji Eksperimental Alat Pengering Kerupuk Tenaga Surya Tipe Box Menggunakan Konsentrator Cermin Datar. *Prosiding Seminar Nasional AVoER Ke-3*. Retrieved from https://repository.unsri.ac.id/23298/1/Pages_from_PROSIDING_AVOER_2011-12.pdf
- Doyan, A., & Ratnasari, R. 2022. Simple Periscope Design as Optical Learning Media. *AMPLITUDO: Journal of Science & Technology Innovation*, 1(2), 75–58.
- Giancoli, D. C. 2001. *Fisika Jilid 2* (5th ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Lyublinskaya, I., Wolfe, G., Ingram, D., Pujji, L., Oberoi, S., & Czuba, N. 2017. *College Physics for AP Courses*. Texas: OpenStax. Retrieved from <https://openstax.org/details/books/college-physics-ap-courses>
- Priahandoko, H. 2014. *Optimalisasi Sudut Cermin Datar sebagai Reflektor Panel Surya Polikristal Penjajak Matahari* (Universitas Jember). Universitas Jember. Retrieved from https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/60494/Heru%20Priahandoko%28091910201047%29_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Setiawan, A., Yuningtyastuti, & Handoko, S. 2015. Analisis Penggunaan Cermin Cekung, Cermin Datar, dan Kombinasi Cermin Cekung-Datar untuk Meningkatkan Daya Keluaran pada Sel Surya. *Transient*, 4(4), 926–932.
- Subarjo, A. H., Mardwianta, B., & Wicaksono, A. B. 2019. Efisiensi Kompor Surya Parabola Berreflektor Cermin Untuk Menunjang Ketahanan Energi. *Jurnal Surya Energi*, 4(1), 345–352.

- Tipler, P. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2 (Terjemahan Dr. Bambang Soegijino)* (3rd ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wicaksono, S. T. B. 2011. *Pengembangan media kompor matahari pada pembelajaran IPA materi energi alternatif di kelas IV sdn Oro-oro Dowo Malang* (Diploma thesis). Universitas Negeri Malang.

BAB 3

CERMIN CEKUNG

Oleh Zahriah

3.1 Pendahuluan

Cermin cekung banyak digunakan manusia dalam membantu kegiatan sehari-hari. Dewasa ini perkembangan teknologi semakin pesat dan tentunya semakin banyak dihasilkan produk-produk teknologi yang canggih yang menggunakan cermin cekung sebagai alat utama maupun pelengkap. Contoh penggunaan cermin cekung adalah pada reflektor senter dan reflektor lampu kendaraan. Reflektor berfungsi untuk memfokuskan cahaya yang dihasilkan lampu sehingga dihasilkan cahaya yang lebih terang dan membantu visibilitas pengemudi dalam berkendara di malam hari.



Gambar 3.1 : Reflektor lampu kendaraan menggunakan cermin cekung

Cermin cekung juga dimanfaatkan dokter gigi untuk memeriksa lubang pada gigi pasien, dengan menggunakan cermin cekung lubang gigi yang masih kecil dapat diamati dengan jelas.



Gambar 3.2 : Kaca mulut yang digunakan dokter gigi merupakan cermin cekung

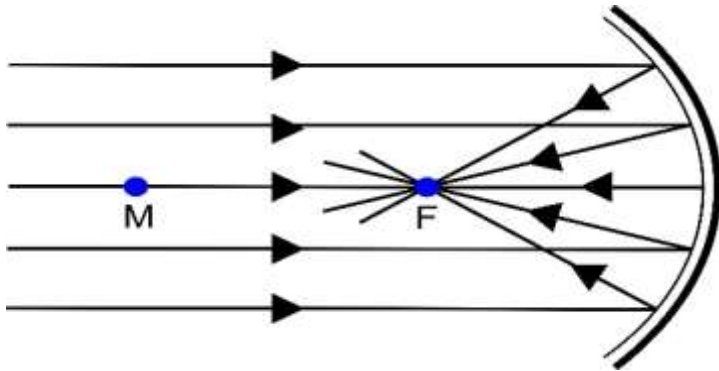
Sumber: <https://my-best.id/>

Selain itu cermin cekung juga diaplikasikan untuk memfokuskan cahaya matahari untuk memanaskan air sampai mendidih dan menghasilkan uap banyak. Selanjutnya uap air akan menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik (Abdullah, 2017).

3.2 Karakteristik Cermin Cekung

Cermin cekung (*concave mirror*) berbentuk lengkungan yang teratur pada bagian dalam permukaan yang melengkung dan dapat memantulkan cahaya. Pantulan cahaya yang mengenai permukaan cekung cermin akan membentuk bayangan yang sifatnya berbeda dengan sifat bayangan yang dihasilkan oleh cermin datar. Hal ini dikarenakan pusat cermin yang melengkung menjauhi orang yang melihat (Giancoli, 2001).

Ketika cahaya yang datang mengenai suatu permukaan cekung maka berkas-berkas cahaya tersebut akan dikumpulkan (konvergen), sehingga cermin cekung dinamakan cermin konvergen. Selain itu letak titik fokus pada cermin cekung berada di luar cermin dan bernilai positif.

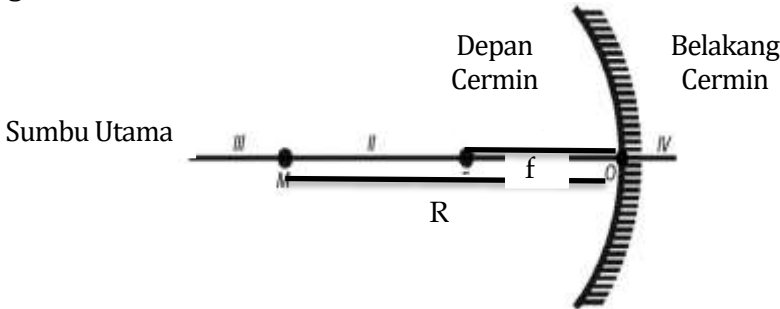


Gambar 3.3 : Ilustrasi pemantulan cahaya pada cermin cekung

Sifat bayangan yang dihasilkan oleh cermin cekung tergantung pada letak benda, artinya sifat bayangan yang dihasilkan oleh benda tidak sama jika jarak benda diubah-ubah menjadi lebih dekat atau lebih jauh dari cermin. Demikian halnya jika cermin didekatkan atau dijauhkan dari benda maka sifat bayangan yang dihasilkan juga akan berubah (Young & Freedman, 2003).

3.3 Bagian-bagian Cermin Cekung

Bagian-bagian pada cermin cekung ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 3.4 : Bagian-bagian cermin cekung

Keterangan:

O = titik pusat cermin (*vertex*), disebut juga titik permukaan pantul

F = titik fokus cermin, yaitu suatu titik yang terletak di sumbu utama yang dilalui sinar datang dan sinar pantul

OM = R = jari-jari kelengkungan cermin

OF = f = jarak fokus cermin, yaitu jarak antara *vertex* dan titik fokus

Jari-jari kelengkungan cermin R jaraknya adalah dua kali dari jarak fokus cermin f, sehingga:

$$R = 2f \text{ atau } f = \frac{R}{2}$$

Untuk penomoran ruang diatur sebagai berikut:

Ruang I = O – F Ruang III = M – (–~)

Ruang II = F – M Ruang IV = O – (+~)

Ruang I, II, dan III terletak di depan cermin, sedangkan ruang IV terletak di belakang cermin.

3.4 Konsep Sinar Istimewa pada Cermin Cekung

Sinar istimewa pada cermin cekung adalah sinar-sinar datang dan sinar-sinar pantul yang berhubungan langsung dengan sumbu utama, titik fokus cermin, dan titik pusat kelengkungan cermin. Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung dapat diperoleh dengan menggunakan konsep Hukum Snellius dan garis normal.

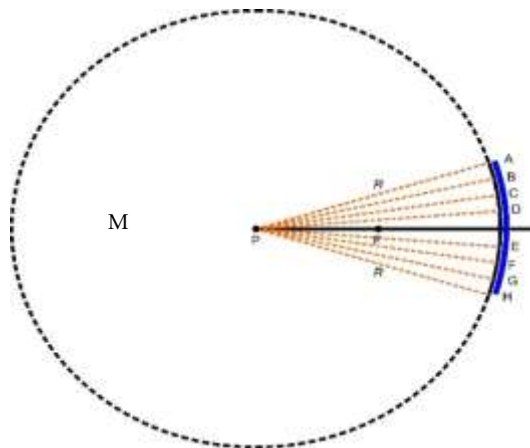
3.4.1 Hukum Snellius

Hukum Snellius tentang pemantulan cahaya pada cermin datar juga berlaku pada cermin cekung. Hukum pemantulan Snellius berbunyi :

1. Sinar datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul

3.4.2 Konsep Garis Normal

Permukaan cermin cekung diibaratkan seperti bagian dalam bola yang telah dibagi menjadi dua bagian. Jika dua bagian tersebut disatukan kembali maka akan membentuk bola yang sempurna.



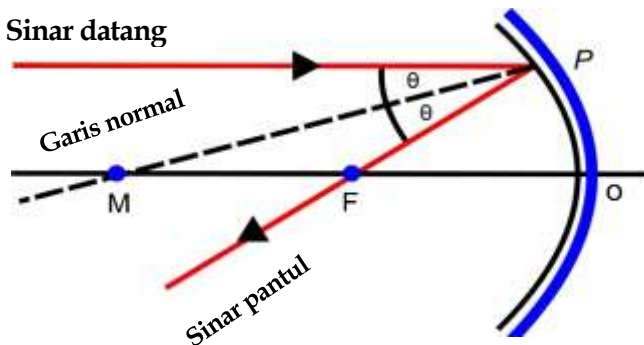
Gambar 3.5 : Bagian dalam bola diibaratkan sebagai permukaan cermin cekung

Titik M adalah titik tengah lingkaran dan merupakan titik kelengkungan cermin sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya. Jarak dari titik O ke titik M adalah jari-jari lingkaran R. Jarak dari titik M ke titik A, B, C, D, E, F, G, dan H sama dengan jarak garis OM. Dengan demikian $AM = BM = CM = DM = EM = FM = GM = HM = OM = R$, yang berarti panjang garis yang menghubungkan setiap titik panjangnya sama dengan panjang jari-jari R. Pada cermin cekung semua garis-garis tersebut berfungsi sebagai garis normal.

3.4.3 Sinar-sinar Istimewa Cermin Cekung

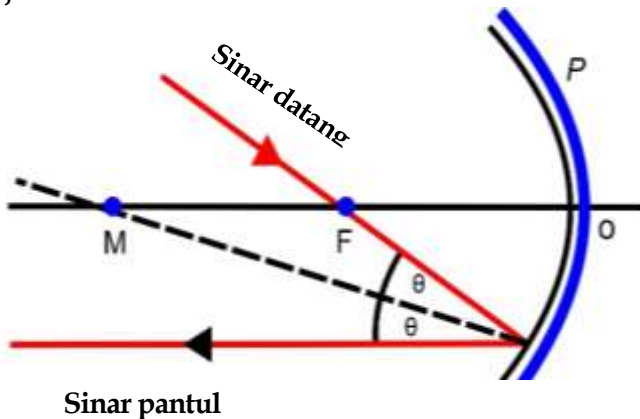
Terdapat tiga sinar istimewa pada cermin cekung, yaitu :

1. Sinar datang sejajar sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus cermin cekung



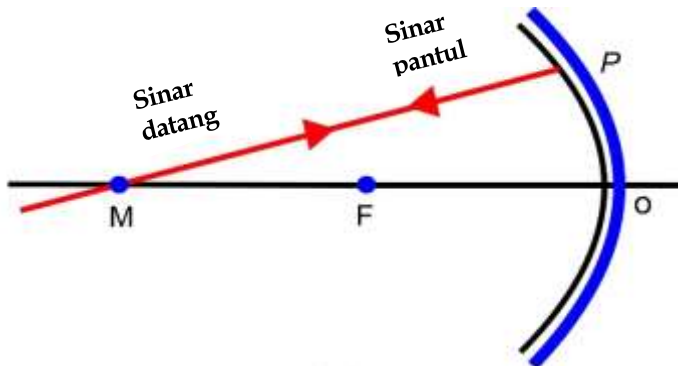
Gambar 3.6 : Ilustrasi sinar istimewa pertama

2. Sinar datang menuju titik fokus cermin cekung dipantulkan sejajar sumbu utama



Gambar 3.7 : Ilustrasi sinar istimewa kedua

3. Sinar datang melalui titik pusat kelengkungan cermin cekung dipantulkan kembali melalui titik itu juga



Gambar 3.8 : Ilustrasi sinar istimewa ketiga

3.5 Hubungan Jarak Fokus (f) dengan Jarak Benda (s) dan Jarak Bayangan (s')

Secara matematis hubungan jarak fokus dengan jarak benda dan jarak bayangan dituliskan:

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

Karena $f = \frac{R}{2}$ maka dapat dituliskan dengan:

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

Sehingga:

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

Keterangan:

f = jarak fokus cermin cekung (cm)

s = jarak benda ke cermin (cm)

s' = jarak bayangan ke cermin (cm)

R = jari-jari cermin cekung (cm)

Pada cermin cekung jarak titik fokus dan jarak benda bernilai positif, sedangkan jarak bayangan akan bernilai positif jika dihasilkan bayangan nyata dan bernilai negatif jika bayangan yang dihasilkan maya (semu).

3.6 Perbesaran Bayangan pada Cermin Cekung

Perbandingan antara jarak benda dengan jarak bayangan dan tinggi benda dengan tinggi bayangan merupakan definisi dari perbesaran bayangan (M). Perbesaran bayangan selalu bernilai positif, secara matematis dituliskan:

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \left| \frac{h'}{h} \right|$$

Keterangan:

M = perbesaran bayangan (kali)

h = tinggi benda (cm)

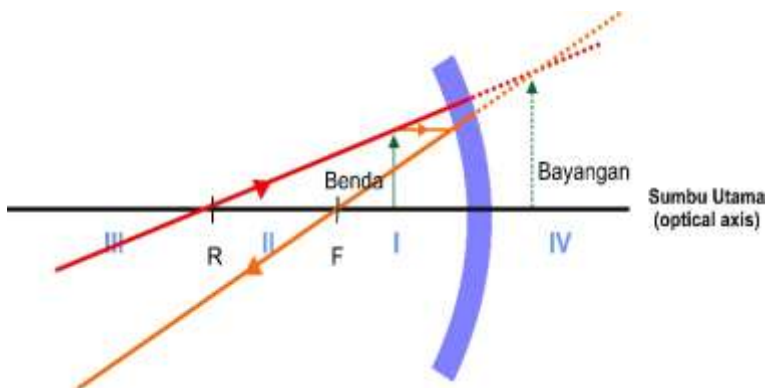
h' = tinggi bayangan (cm)

3.7 Sifat-sifat Bayangan Cermin Cekung

Cermin cekung dapat menghasilkan bayangan nyata dan bayangan maya, hal ini bergantung pada posisi benda yang ditempatkan di depan cermin.

3.7.1 Benda berada di ruang I (di antara O dan F)

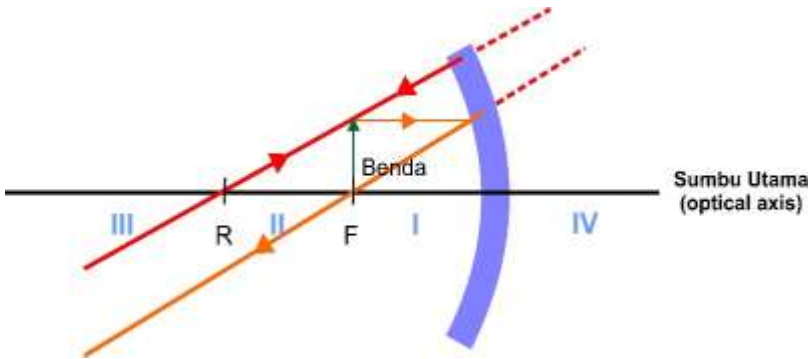
Dengan menggunakan sinar istimewa ke dua, sinar sejajar sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus dari ujung B. Kemudian menggunakan sinar istimewa ke tiga, sinar yang melalui titik M dan melalui ujung B dipantulkan kembali melalui titik yang sama. Perpanjangan sinar pantul yang melalui titik F dan titik M berpotongan di titik B' yang terletak di belakang cermin (ruang IV). Selanjutnya ditarik sebuah garis yang tegak lurus dengan sumbu utama sehingga terbentuk garis A'B' yang merupakan bayangan yang dihasilkan ketika benda diletakkan di ruang I. Dengan demikian sifat bayangan yang dibentuk adalah maya, tegak, diperbesar.



Gambar 3.9 : Benda di ruang I bayangan terbentuk di ruang IV

3.7.2 Benda berada tepat di titik fokus (F)

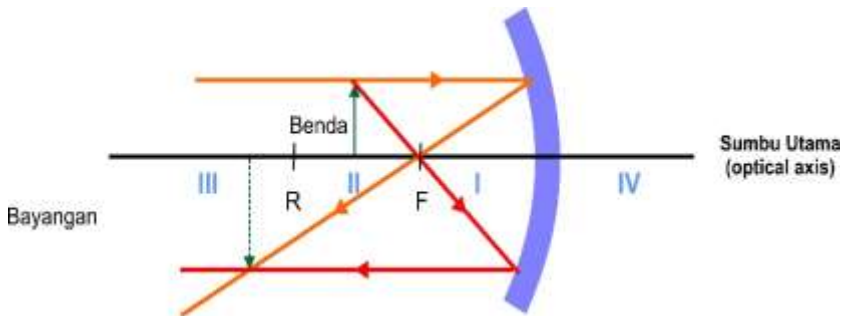
Benda yang diletakkan tepat di titik fokus cermin akan membentuk bayangan maya, tegak dengan perbesaran tak terhingga. Hal ini terjadi karena perpanjangan sinar pantul yang dibentuk menggunakan sinar istimewa ke dua dan ketiga tidak saling berpotongan sehingga seolah-olah tidak terjadi bayangan.



Gambar 3.10 : Benda terletak di titik fokus

3.7.3 Benda berada di ruang II (diantara F dan M)

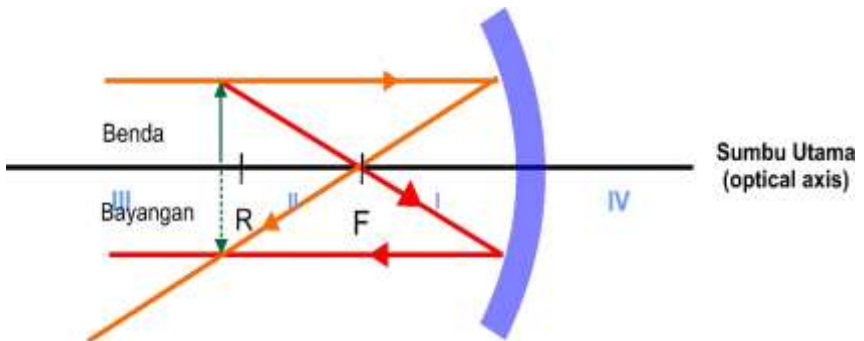
Untuk memperoleh sifat bayangan yang dibentuk oleh benda yang terletak di ruang II maka di gunakan sinar istimewa pertama dan ke dua. Sinar yang datang sejajar sumbu utama melewati titik B dipantulkan melalui titik fokus, kemudian sinar yang datang dari titik B yang melewati titik fokus dipantulkan sejajar sumbu utama. Sinar-sinar pantul saling berpotongan dititik B' yang terletak di depan cermin sehingga terbentuk bayangan A'B' yang sifatnya nyata, terbalik, dan diperbesar.



Gambar 3.11 : Benda di ruang II bayangan terbentuk di ruang III

3.7.4 Benda berada di titik pusat kelengkungan cermin (M)

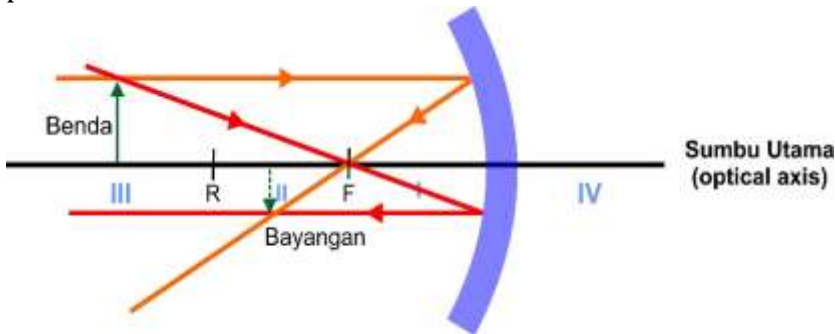
Dengan menggunakan sinar istimewa pertama dan ke dua seperti benda yang diletakkan di ruang II, diperoleh bayangan yang dibentuk terletak di depan cermin dengan garis $A'B'$ sama besar dengan benda sehingga bayangan yang dibentuk sifatnya adalah nyata, terbalik, dan sama besar.



Gambar 3.12 : Benda di titik pusat kelengkungan bayangan sama besar

3.7.5 Benda berada di ruang III (di antara M dan ~)

Dengan menggunakan konsep sinar istimewa pertama, sinar yang datang dari B sejajar sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus. Setelah itu dengan menggunakan sinar istimewa ke dua, sinar yang datang melalui titik fokus F dipantulkan sejajar sumbu utama. Kedua sinar pantul berpotongan di depan cermin sehingga menghasilkan bayangan yang sifatnya nyata, terbalik, dan diperkecil.



Gambar 3.13 : Benda di ruang III bayangan terbentuk di ruang II

3.8 Menentukan Letak dan Sifat Bayangan Cermin Cekung

Berdasarkan uraian sebelumnya mengenai sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin cekung dengan menerapkan konsep sinar-sinar istimewa, maka untuk menentukan letak dan sifat bayangan dapat dilakukan dengan cara membuat penomoran ruang dan dengan cara melihat tanda positif dan negatif serta nilai perbesaran bayangan yang diperoleh melalui perhitungan.

3.8.1 Menggunakan penomoran ruang

Ruang diletakkannya benda pada cermin cekung adalah ruang I, II, dan III yang terletak di depan cermin. Hubungan antara nomor ruang benda dan nomor ruang bayangan berdasarkan *Dalil Esbach* dinyatakan dengan :

R benda + R bayangan = V

Keterangan :

R benda = nomor ruang benda (I, II, III)

R bayangan = nomor ruang bayangan (II, III, IV)

Dengan ketentuan sebagai berikut :

Tabel 3.1 : Letak benda berdasarkan penomoran ruang

Ruang benda	Letak benda
Ruang I	$s < f$
Ruang II	$f < s < R$
Ruang III	$s > R$ atau $s > 2f$

Karena nomor ruang benda umumnya diketahui, maka dari persamaan di atas nomor bayangan dapat ditentukan dengan :

R bayangan = 5 – R benda

Dari persamaan tersebut akan diperoleh nomor bayangan dan letak bayangan yang dibentuk sesuai dengan posisi benda (Theressia, 2022).

Tabel 3.2 : Letak benda, letak bayangan, dan sifat bayangan yang dibentuk cermin cekung

No	Letak benda	Letak bayangan	Sifat bayangan
1	Ruang I	Di belakang cermin (ruang IV)	Maya, tegak, diperbesar
2	Titik fokus	Di belakang cermin	Maya, tegak, diperbesar tak berhingga
3	Ruang II	Di depan cermin (ruang III)	Nyata, terbalik, diperbesar)
4	Titik pusat kelengkungan cermin	Di depan cermin	Nyata, terbalik, sama besar
5	Ruang III	Di depan cermin (ruang II)	Nyata, terbalik, diperkecil

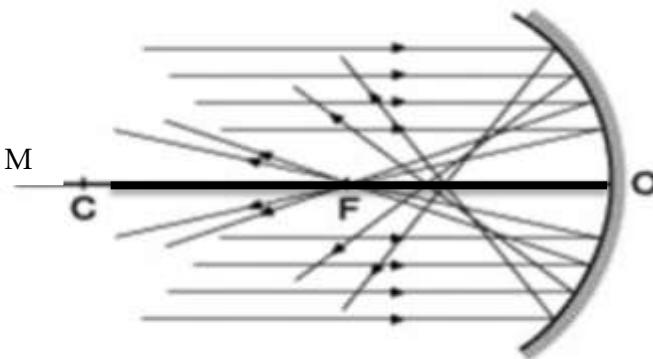
3.8.2 Menggunakan metode hasil perhitungan

Sifat bayangan pada cermin cekung ditentukan dengan cara :

1. Bayangan bersifat nyata dan terbalik jika jarak bayangan (s') bernilai positif
2. Bayangan bersifat maya dan tegak jika jarak bayangan (s') bernilai negatif
3. Bayangan diperbesar jika $M > 1$
4. Bayangan sama besar jika $M = 1$
5. Bayangan diperkecil jika $M < 1$

3.9 Cacat Bayangan pada Cermin Cekung

Cacat bayangan pada cermin cekung terjadi ketika sinar-sinar sejajar sumbu utama yang terletak jauh dari sumbu utama tidak jatuh di titik fokus, akan tetapi memotong sumbu utama di antara titik fokus dan *vertex*. Hal ini menyebabkan bayangan yang dibentuk cermin menjadi tidak tajam. Ketidakmampuan cermin cekung membentuk bayangan yang tajam disebut *aberasi sferis* (Surya, 2009).



Gambar 3.14 : Aberasi sferis

3.10 Pemecahan Masalah yang Berkaitan dengan Cermin Cekung

1. Sebatang lilin setinggi 6 cm diletakkan di depan cermin cekung yang berjari-jari 30 cm. Jika jarak benda ke cermin 20 cm, maka tentukanlah jarak bayangan, perbesaran bayangan, tinggi bayangan dan sifat bayangannya.

Penyelesaian

Diketahui:

$$h = 6 \text{ cm}$$

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

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

$$f = \frac{1}{2} R = 15 \text{ cm}$$

Ditanya:

- a. $s' = \dots?$
- b. $M = \dots?$
- c. $h' = \dots?$
- d. Sifat bayangan...

Jawab

- a. Jarak bayangan (s')

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

$$\frac{1}{15} = \frac{1}{20} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{4}{60} - \frac{3}{60}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{60}$$

$$s' = 60 \text{ cm}$$

Bayangan benda yang terbentuk berada pada jarak 60 cm di depan cermin

- b. Perbesaran bayangan (M)

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

$$M = \left| \frac{60}{20} \right|$$

$$M = 3 \text{ kali}$$

Jadi, perbesaran bayangan lilin adalah 3 kali dari aslinya

- c. Tinggi bayangan (h')

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

$$3 = \frac{h'}{6}$$

$$h' = 18 \text{ cm}$$

- d. Sifat bayangan

Cara I (Menggunakan metode hasil perhitungan)

$$s = 20 \text{ cm} \quad s' = 60 \text{ cm}$$

$$h = 6 \text{ cm} \quad h' = 18 \text{ cm}$$

s' bernilai positif, artinya bayangan berada di depan cermin maka sifatnya *nyata dan terbalik*

s' > s dan h' > h, artinya bayangan *diperbesar*

Dengan demikian sifat bayangan yang dihasilkan adalah nyata, terbalik, dan diperbesar.

Cara II (Menggunakan penomoran ruang)

Jarak benda	Ruang benda	Jarak bayangan	Ruang bayangan
20 cm	Ruang II, di mana : $f = 15 \text{ cm}$ $s = 20 \text{ cm}$ $R = 30 \text{ cm}$ Maka : $f < s < R$	60 cm	$R \text{ bayangan} = 5 - R$ benda $= 5 - 2$ $= 3$ Ruang III

Jika benda terletak di ruang II maka terbentuk bayangan di ruang III, sifat bayangan yang dihasilkan adalah nyata, terbalik, dan diperbesar.

2. Bayangan yang dibentuk oleh sebuah cermin cekung ukurannya setengah kali dari bendanya. Jika jari-jari kelengkungan cermin adalah 16 cm, tentukan:

- Jarak benda
- letak benda

Penyelesaian

Diketahui:

$$M = 0,5 \text{ kali}$$

$$R = 16 \text{ cm, sehingga } f = 8 \text{ cm}$$

Ditanya:

- Jarak benda=...?
- Letak benda=...?

Jawab

- Jarak benda (s)

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

$$0,5 = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

$$s' = 0,5s$$

Maka,

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

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{s} + \frac{1}{0,5s}$$

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{s} + \frac{2}{s}$$

$$\frac{1}{8} = \frac{3}{s}$$

$$s = 3 \times 8$$

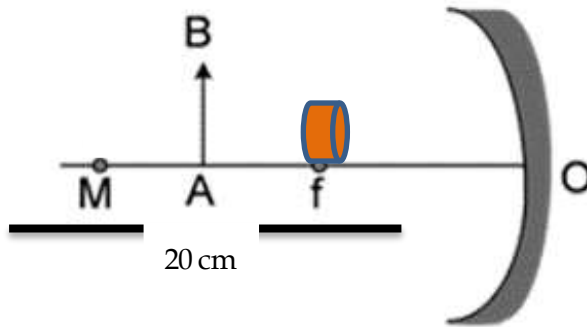
$$s = 24 \text{ cm}$$

Jarak benda 24 cm di depan cermin

b. Letak benda

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh jarak benda 24 cm di depan cermin, dengan $f = 8$ cm dan $R = 16$ cm yang berarti bahwa $s > R$. Dengan demikian dapat disimpulkan benda terletak di ruang III.

3. Sebuah silinder kecil diletakkan di depan cermin cekung dengan posisi seperti pada gambar di bawah ini.



Jika dihasilkan bayangan maya dengan jarak 4 cm dan tinggi bayangan 2 cm, tentukan:

- Jarak silinder ke cermin
- Tinggi silinder yang sebenarnya

Penyelesaian

Diketahui:

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

$$s' = 4 \text{ cm}$$

$$h' = 2 \text{ cm}$$

$$f = \frac{1}{2} R = 10 \text{ cm}$$

Ditanya:

- $s = \dots?$
- $h = \dots?$

Jawab

- Jarak silinder dari cermin

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

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{s} - \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{10} + \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{4 + 10}{40} = \frac{14}{40}$$

$$s = \frac{40}{14}$$

$$s = 2,85 \text{ cm}$$

Jarak silinder 2,85 cm di depan cermin

c. Tinggi silinder yang sebenarnya

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \left| \frac{4}{2,85} \right| = 1,4 \text{ kali}$$

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

$$1,4 = \frac{2}{h}$$

$$h = \frac{2}{1,4} = 1,43 \text{ cm}$$

Jadi tinggi silinder yang sebenarnya adalah 1,43 cm

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. 2017. *Fisika Dasar II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Surya, Yohanes. 2009. *Seri Bahan Persiapan Olimpiade Fisika Optik*. Tangerang: PT Kandel.
- Thressia, Merry. 2022. *Buku Ajar Optika*. Yogyakarta: Deepublish.
- Young & Freedman. 2003. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.

BAB 4

CERMIN CEMBUNG

Oleh Zulkarnaini

4.1 Pendahuluan

Secara garis besar cermin dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu cermin datar, cermin cekung dan cermin cembung. Sementara, karakteristik pemantulan oleh masing-masing cermin ini berbeda-beda, sehingga pembentukan bayangannya juga berbeda-beda pula. Bicara cermin terbawa pembaca kepada bayangan yang dibentuknya. Terkait dengan itu ada dua jenis bayangan yang dibentuk dari pemantulan, yaitu bayangan nyata dan bayangan maya. Bayangan nyata merupakan bayangan yang terbentuk dari perpotongan garis cahaya-cahaya pantul. Sementara, bayangan maya tidak dapat ditangkap oleh layar, tetapi bayangan dapat dilihat di cermin yang dibentuk dari perpanjangan cahaya pantul di belakang cermin.

Namun, tulisan ini hanya dibatasi pada cermin cembung saja sesuai dengan topik yang diangkat di atas. Untuk uraian lengkap terkait materi cermin cembung akan dijabarkan pada halaman-halaman berikut ini dan dibatasi cermin cembung, sifat cermin cembung dan bagian-bagiannya, konstruksi posisi dan perbesaran bayangan cermin cembung, pembentukan bayangan pada cermin cembung, dan contoh aplikasi konsep.

4.2 Cermin Cembung

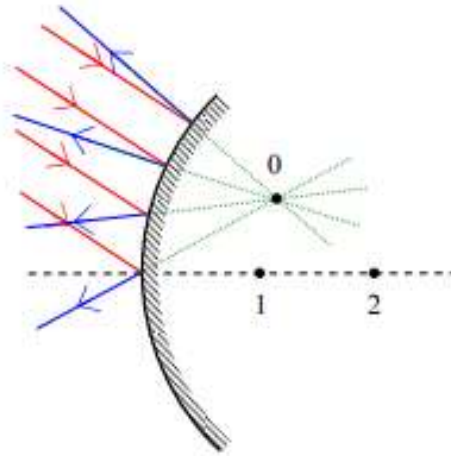
Menurut (Taurintyanna, 2009) cermin cembung adalah cermin yang permukaan pantulnya melengkung ke luar. Pada cermin cembung, bagian mukanya berbentuk seperti kulit bola. Gambar 4.1 diperlihatkan bentuk cermin cembung yang sering kita

lihat sehari-hari. Selain itu, cermin cembung ini juga banyak kita jumpai di supermarket-supermarket atau di belokan-belokan jalan raya.



Gambar 4.1 : Cermin Cembung

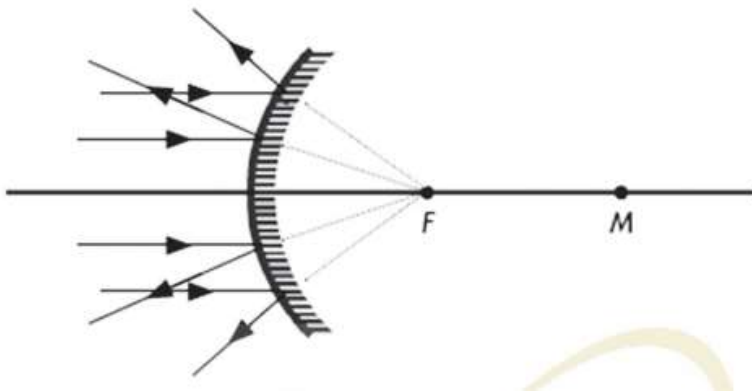
Pada cermin cembung berkas-berkas sejajar yang datang akan dipantulkan saling menjauh satu sama lain, seakan-akan berkas-berkas pantul bersumber dekat dari suatu titik yang disebut sebagai titik fokus. Selanjutnya, cermin cembung dapat dibentuk dari suatu permukaan luar suatu silinder (atau bola).



Gambar 4.2 : Berkas-Berkas Yang Datang Sejajar Pada Cermin Cembung Dipantulkan Seakan-Akan Bersumber Dari Suatu Titik 0 yang Dekat Dengan Titik Fokus 1

Bila berkas-berkas sejajar yang datang juga sejajar dengan sumbu utama (garis yang menghubungkan titik 1 dan 2 dalam Gambar 4.2) maka titik pertemuan perpanjangan berkas-berkas pantul yang semula adalah titik 0 akan menjadi titik 1, yang dikenal pula sebagai titik fokus cermin (cembung).

Selanjutnya, cermin cembung juga memiliki sifat divergen (menyebar) cahaya. Jika sinar datang sejajar sumbu utama mengenai cermin cembung, sinar akan di pantulkan menyebar. Jika sinar-sinar pantul pada cermin cembung di perpanjang pangkalnya, sinar akan berpotongan di titik fokus (titik api) di belakang cermin. Pada perhitungan, titik api cermin cembung bernilai negatif karena bersifat semu.

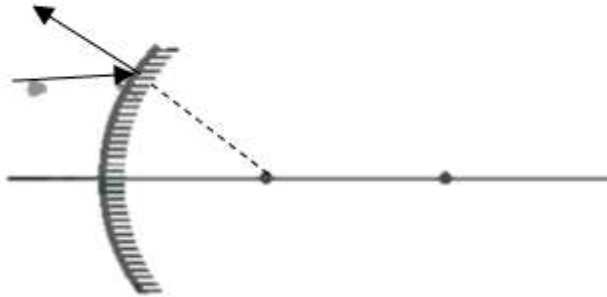


Gambar 4.3 : Cermin Cembung Akan Menyebar Sinar Pantul

Lebih jauh dikatakan bahwa sinar-sinar pantul pada cermin cembung seolah-olah berasal dari titik fokus menyebar ke luar. Seperti halnya pada cermin cekung, pada cermin cembung pun berlaku sinar-sinar istimewa, tetapi dengan sifat yang berbeda. Titik fokus cermin cembung berada di belakang cermin sehingga bersifat maya dan bernilai negatif. Perlu diingat bahwa cermin cembung merupakan kebalikan dari cermin cekung.

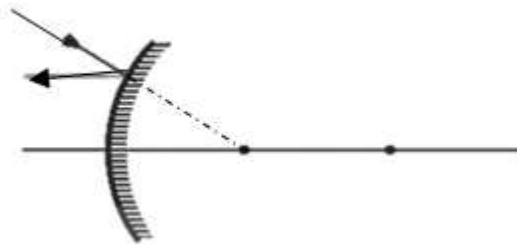
Menurut (Suwarna, 2010) sinar-sinar istimewa pada cermin cembung seperti berikut ini:

1. Sinar datang sejajar dengan sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah dari titik fokus.



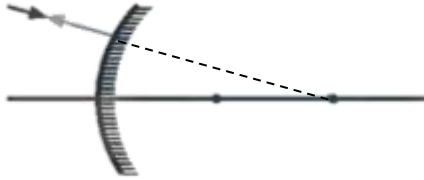
Gambar 4.4 : Sinar Datang Sejajar Dengan Sumbu Utama Akan Dipantulkan Seolah-olah Dari Titik Fokus

2. Sinar datang menuju titik fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



Gambar 4.5 : Sinar Datang Menuju Titik Fokus Akan Dipantulkan Sejajar Sumbu Utama

3. Sinar datang menuju titik M (titik pusat kelengkungan) akan dipantulkan seolah-olah dari titik itu juga.



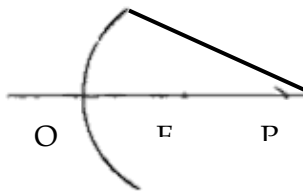
Gambar 4.6 : Sinar Datang Menuju Titik M (Titik Pusat Kelengkungan) Akan Dipantulkan Seolah-olah Dari Titik Itu Juga

4.3 Sifat Cermin Cembung dan Bagian-Bagiannya

Cermin cembung memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Berkas sinar yang sejajar sumbu utama dipantulkan seolah-olah berasal dari titik focus, dan
2. Cermin cembung bersifat menyebarkan cahaya atau disebut divergen.

Sementara, bagian-bagian dari cermin cembung terdiri dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 : Cermin Cembung

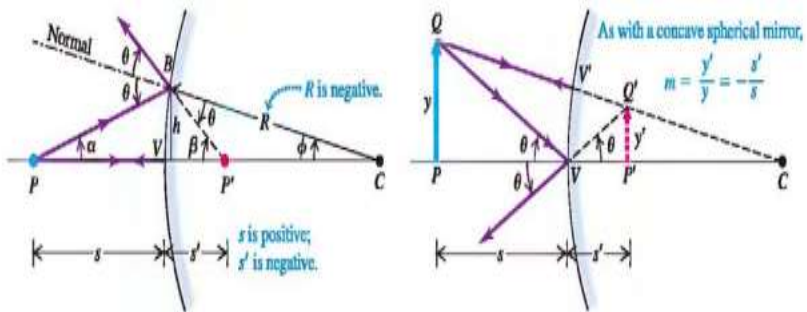
Keterangan:

- P : titik pusat kelengkungan cermin.
 F : titik focus.
 O : titik pusat permukaan cermin.

- OF : jarak fokus, panjangnya 1 / 2 jari-jari kelengkungan cermin (f).
 OP : sumbu utama cermin.

4.4 Konstruksi Posisi dan Perbesaran Bayangan Cermin Cembung

Berikut diperlihatkan konstruksi untuk mencari posisi dan perbesaran bayangan yang dibentuk oleh bayangan cermin cembung, seperti terlihat pada Gambar 4.8 berikut ini (Sears and Zemansky's, 2007)



Gambar 4.8 : Konstruksi Posisi dan Perbesaran Bayangan Cermin Cembung

Gambar 4.8 di atas, memperlihatkan dua cara yang berpacar dan kepala panah PO dan bayangan maya P' Q' dari panah ini. Prosedur sama yang kita gunakan untuk sebuah cermin cekung dapat digunakan untuk memperlihatkan bahwa untuk sebuah cermin cembung.

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

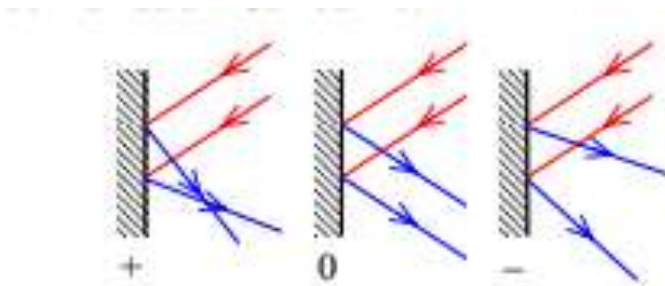
dan perbesaran lateral adalah

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

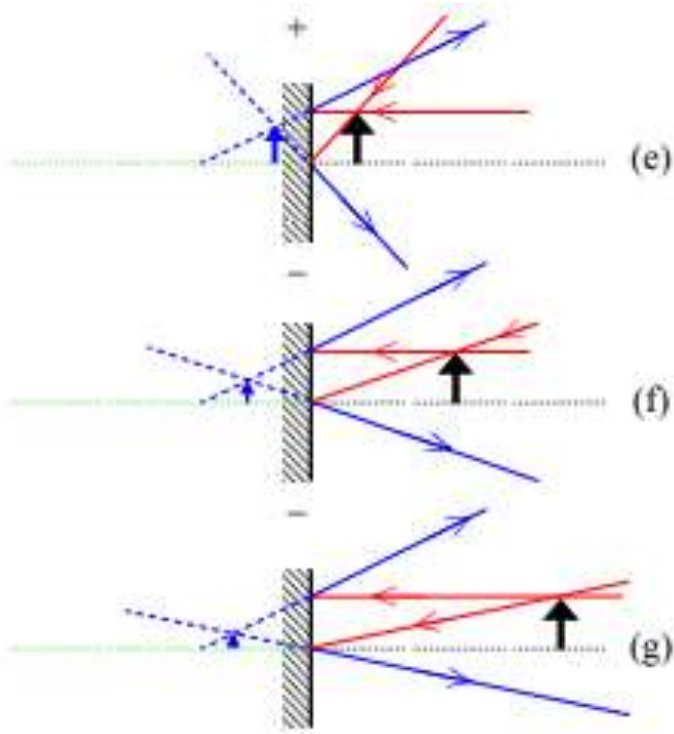
Bila R adalah negatif (cermin cembung), maka sinar-sinar yang datang yang paralel dengan sumbu optik tidak direfleksikan melalui titik fokus F. Sebagai gantinya, sinar-sinar itu berpecah seolah-olah sinar-sinar itu datang dari titik F sejauh f di belakang cermin tersebut.

4.5 Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung

Sifat cermin secara umum adalah memantulkan, oleh karena itu bayangan yang terletak pada ruang yang sama dengan benda terhadap sisi cermin disebut bayangan nyata, sedangkan pada ruang yang lain terhadap sisi cermin disebut bayangan maya (Virizi & Novitrian, 2014). Untuk menyederhanakan ilustrasi cermin pada bagian ini maka cermin datar, cermin cekung, dan cermin cembung digambarkan dengan suatu simbol dan juga menggunakan tanda kekuatannya untuk memusatkan cahaya, yaitu 0, +, dan –, seperti diberikan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 : Simbol Ilustrasi Ketiga Jenis Cermin: Cermin Cekung (+), Cermin Datar (0), dan Cermin Cembung (–)

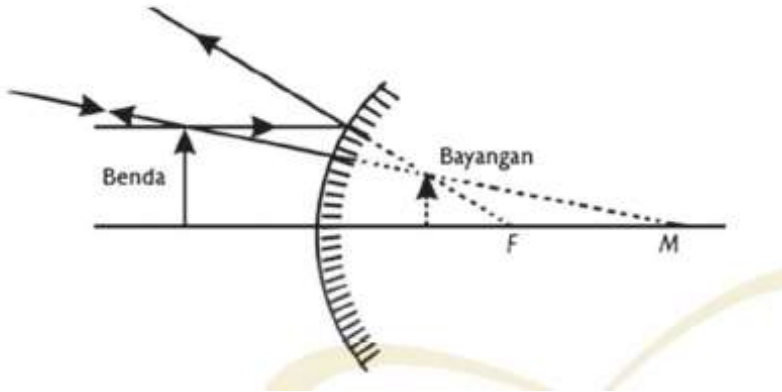


Gambar 4.10 : Pembentukan Bayangan Oleh Cermin Cembung Dengan Benda Terletak Pada Ruang I (E), II (F), Dan III (G)

Dalam Gambar 4.10 diperlihatkan ketiga ilustrasi untuk jenis cermin cembung yang diberikan hanya untuk meyakinkan bahwa pada ketiga ruang tersebut (I, II, atau III) akan memiliki sifat bayangan yang sama.

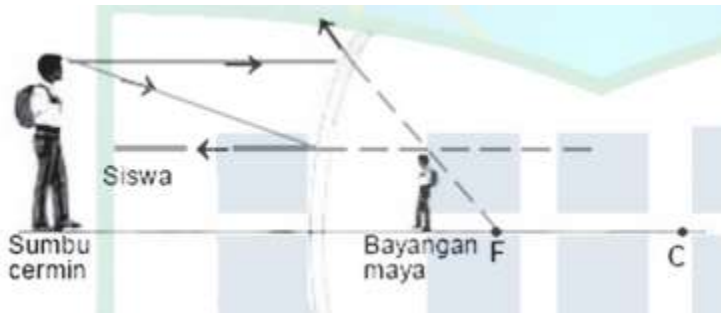
Bayangan yang terbentuk pada cermin cembung selalu maya dan berada di belakang cermin. Secara geometris, kita cukup menggunakan dua berkas sinar istimewa untuk mendapatkan

bayangan pada cermin cembung. Jika sebuah lilin di depan cermin cembung, maka akan memiliki bayangan maya di belakang cermin.



Gambar 4.11 : Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung

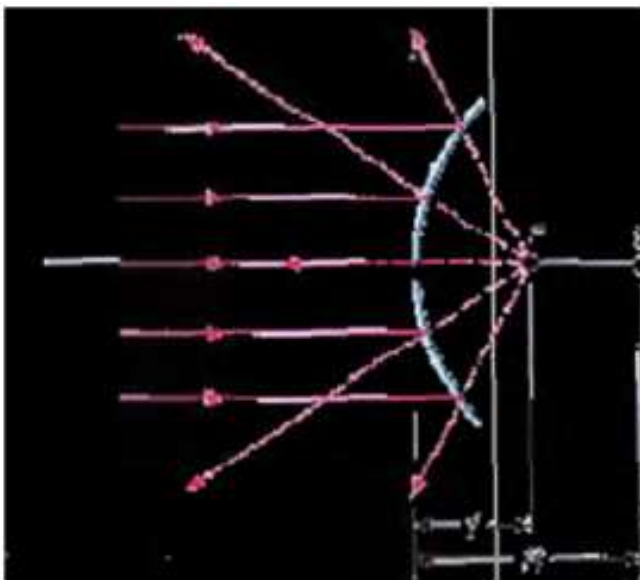
Benda yang diletakkan di depan cermin cembung akan selalu menghasilkan bayangan di belakang cermin dengan sifat maya, sama tegak, dan diperkecil. Hubungan antara jarak benda (s) dan jarak bayangan (s'), dan titik fokus (f) memiliki persamaan yang sama dengan cermin cekung. Perbedaannya, pada cermin cekung nilai jarak fokus selalu negatif.



Gambar 4.12 : Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung Dalam Bentuk Lain

Definisi lain dari cermin cembung merupakan cermin yang permukaannya melengkung ke arah luar. Bila kita mengamati bayangan diri sendiri menggunakan cermin cembung, tentu anda akan melihat bahwa bayangannya akan berukuran lebih kecil daripada diri anda sendiri. Selain itu, cermin cembung menghasilkan bayangan yang lebih kecil dari bendanya.

Selanjutnya, pada cermin cembung terdapat beberapa titik penting yang mirip dengan pada cermin cekung, yakni titik fokus (F), titik pusat kelengkungan (C), dan titik pusat optik (A). Pada cermin cembung, jarak antara titik pusat optik terhadap titik pusat kelengkungan dinamakan jari-jari kelengkungan (R) dan nilainya negatif. Panjang jari-jari kelengkungan cermin cekung adalah 2 kali panjang jarak fokus. Perhatikan Gambar 4.13



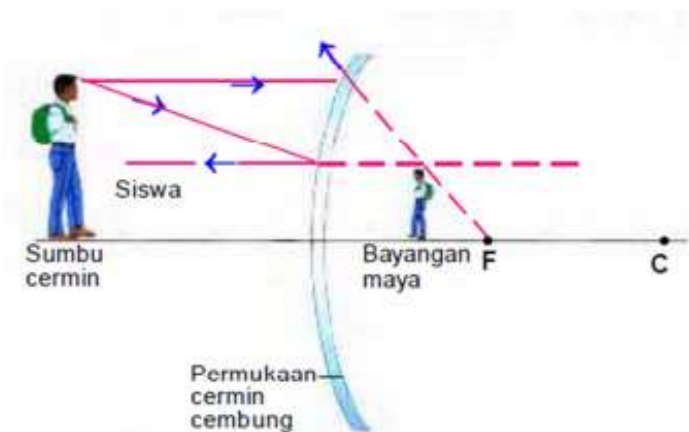
Gambar 4.13 : Cermin Cembung

Untuk memahami penjabaran sinar-sinar istimewa di atas perhatikan Gambar 4.14 berikut. Bayangan yang dibentuk oleh cermin cembung dapat digambarkan dengan bantuan sinar-sinar istimewa tersebut.



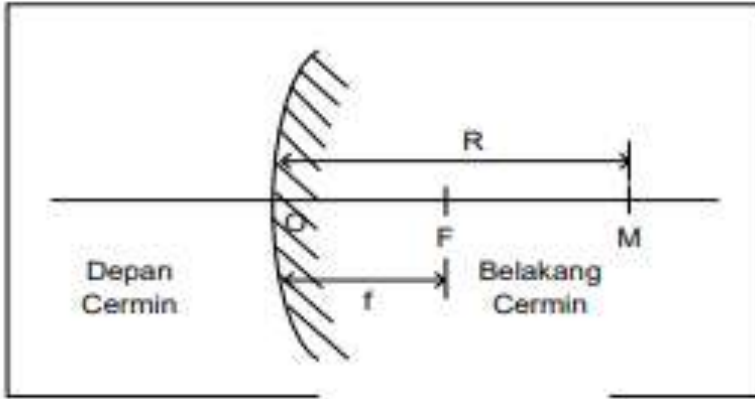
Gambar 4.14 : Tiga Sinar Istimewa Pada Cermin Cembung

Benda yang terletak dihadapan cermin cembung akan menghasilkan bayangan maya, tegak, diperkecil (Gambar 4.15). Selanjutnya, pada Gambar 4.15 sinar yang datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah keluar dari titik fokus dan sinar yang menuju titik fokus cermin akan dipantulkan sejajar sumbu utama. Perpotongan perpanjangan sinar yang keluar dari titik fokus dan sinar yang sejajar sumbu utama hasil pantulan sinar yang datang menuju titik fokus membentuk bayangan maya.



Gambar 4.15 : Benda Terletak Di Depan Cermin Cembung

Sementara itu, (Nirsal, 2012) mengatakan bahwa nama lain dari cermin cembung adalah cermin lengkung. Bagian depan cermin cembung (bagian mengkilap) adalah bagian yang melengkung keluar (menonjol). Cermin ini dapat diperoleh dari irisan bola dengan memberi lapisan amalgam pada sisi cekung (sebelah dalam), sehingga sisi luarnya bertindak sebagai pemantul.



Gambar 4.16 : Ilustrasi Cermin Cembung

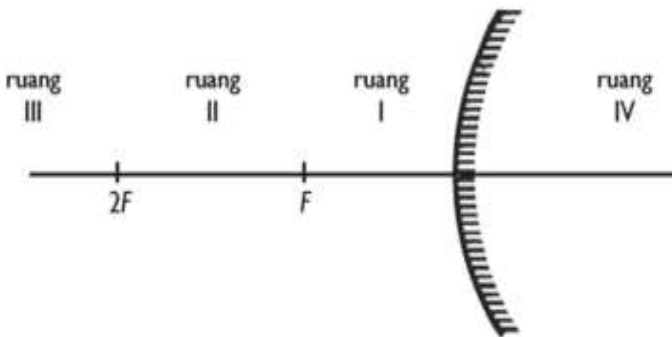
Berdasarkan gambar 4.16 di atas, maka dapat didefinisikan beberapa istilah yang terdapat dalam cermin cembung seperti berikut:

- Titik F disebut titik fokus atau titik api cermin.
- Titik M disebut titik pusat kelengkungan cermin.
- Titik O disebut titik pusat bidang cermin.
- Garis yang melalui titik O dan titik M disebut sumbu utama.
- Jarak $OM = R$ disebut jari-jari kelengkungan cermin.

Hukum pemantulan pada cermin cembung sama seperti hukum pemantulan pada cermin yang lain. Pada cermin cembung, arah semua garis normal di setiap titik pada bidang pantul menjauhi pusat kelengkungan. Dengan menggunakan hukum pemantulan cahaya, maka dapat ditentukan sinar pantul dari sembarang berkas sinar yang menuju permukaan cermin cembung. Berkas sinar datang selalu dipantulkan menjauhi sumbu utama. Dengan kata lain, sinar pantul dari cahaya yang datang selalu disebar. Karena sifatnya yang selalu menyebarkan sinar, maka cermin cembung disebut cermin divergen. Titik fokus cermin

cembung terletak di belakang cermin sehingga titik fokus ini disebut titik fokus maya.

Berikut ini diperlihatkan penomoran ruang benda dan bayangan pada cermin cembung agar memudahkan untuk pengecekan sifat-sifat bayangan pada cermin. Gambar penomoran ruangan benda dan bayangan yang dimaksud adalah



Gambar 4.17 : Penomoran Ruang Benda dan Bayangan Pada Cermin Cembung

Aturan pemakaian untuk penomoran ruang cermin cembung adalah sebagai berikut.

1. Ruang benda dan bayangan menggunakan nomor ruang yang sama.
2. Jumlah nomor ruang benda dan bayangan harus sama dengan lima.
3. Bayangan yang berada di depan cermin selalu nyata dan terbalik dan bayangan di belakang cermin selalu maya dan sama tegak.
4. Jika nomor bayangan lebih besar dari pada nomor benda, bayangan diperbesar.
5. Jika nomor bayangan lebih kecil daripada nomor benda,

bayangan diperkecil (Nirsal, 2012).

Berbagai percobaan yang dilakukan untuk menentukan hubungan antara jarak benda, jarak bayangan, dan titik fokus menunjukkan bahwa persamaan yang berlaku pada cermin cekung juga berlaku untuk cermin cembung. Namun, ada beberapa catatan berkaitan dengan penggunaan persamaan tersebut, yaitu :

1. Karena titik pusat kelengkungan cermin dan titik fokus cermin terletak di belakang cermin, maka dalam perhitungan jari-jari cermin (R) dan jarak fokus (f) selalu bertanda negatif.
2. Karena bayangan yang dihasilkan selalu bersifat maya, maka dalam perhitungan jarak bayangan (S_i) selalu bertanda negatif.

Dengan demikian, persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan pada cermin cembung sama seperti yang digunakan pada cermin cekung, yaitu :

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{2}{R}$$

$$M = \frac{s_i}{s_o} = \frac{h_i}{h_o}$$

Keterangan:

s_o = jarak dari benda ke titik pusat bidang cermin

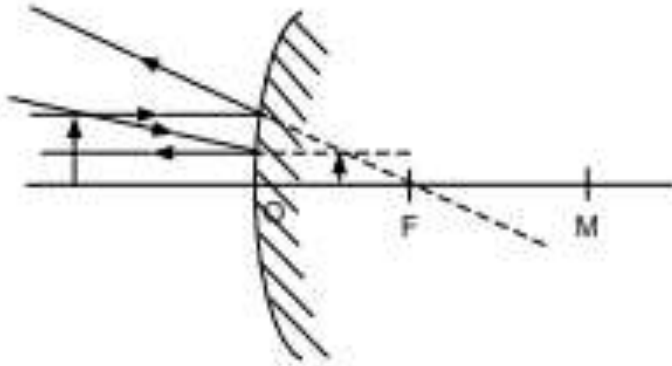
s_i = jarak dari bayangan ke titik pusat bidang cermin

h_o = tinggi benda

h_i = tinggi bayangan

M = perbesaran benda

Cermin cembung selalu memperkecil bayangan benda. Oleh karena itu, jangkauan pandangan cermin ini lebih luas daripada cermin datar maupun cermin cekung. Dengan kata lain, manfaat utama cermin cembung adalah memperluas daerah pandang.



Gambar 4.18 : Contoh Pembentukan Bayangan Pada Cermin Cembung

4.6 Contoh Aplikasi Konsep

1. Sebuah benda terletak 14 cm di depan cermin cembung yang memiliki jari-jari kelengkungan 20 cm. Berapakah jarak bayangannya? Penyelesaian:

Diketahui :

Jarak benda (s) = 14 cm (di depan cermin)

Jari-jari kelengkungan (R) = -20 cm (cermin cembung)

Ditanya : Jarak bayangan (s') ?

Jawab:

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

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

$$= \frac{2}{-20} - \frac{1}{14}$$

$$= \frac{-1}{10} - \frac{1}{14} = \frac{-1-10}{140} = \frac{-24}{140}$$

$$s' = -\frac{140}{24} = -5,8$$

2. Pernyataan berikut merupakan keistimewaan sinar pada cermin cembung yaitu
- A. Sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan akan dipantulkan Kembali melalui titik pusat kelengkungan tersebut
 - B. Sinar datang yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui titik focus
 - C. Sinar datang yang melalui titik focus akan dipantulkan sejajar sumbu utama
 - D. Sinar datang sejajar sumbu utama dibiaskan melalui titik focus

Pembahasan :

Keistimewaan sinar cermin cembung, yaitu:

- Sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan dipantulkan Kembali seolah-olah dari titik pusat kelengkungan tersebut
- Sinar datang apabila sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah berasal dari titik focus
- Sinar datang yang melalui titik focus akan dipantulkan sejajar sumbu utama

Jawaban : C

Jadi, jarak benda adalah -12 cm yang terletak di belakang cermin atau maya. Sifat-sifatnya adalah maya, sama tegak, dan diperkecil.

4.7 Penggunaan Untuk Cermin Cembung

Jika kita membandingkan cermin cembung dengan cermin datar yang sama ukuran, maka kita akan menemukan bahwa objek lebih bagus dilihat melalui cembung cermin. Oleh karena itu, cermin cembung sering digunakan sebagai pengaman cermin di toko-toko (Gambar 4.19). Selain itu, cermin cembung memungkinkan kita untuk melihat wilayah sekeliling toko dari satu lokasi secara bebas.

Selanjutnya, untuk alasan yang sama, cembung cermin juga dapat digunakan dalam kendaraan sebagai kaca spion samping. Namun, jika kita melihat ke dalam cermin cembung, tampak seolah-olah bayangannya berasal dari titik yang lebih kecil di belakang cermin. Karena ini gambar yang lebih kecil, maka cermin cembung pada mobil sering memiliki peringatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 di mana objek di cermin lebih dekat dari yang sesungguhnya. Selain itu, cermin cembung juga pernah digunakan di beberapa *teller* mesin otomatis dan komputer (Gambar 4.21). Lebih jauh lagi, cermin cembung memungkinkan pengguna mesin untuk melihat apa yang terjadi di belakang mereka saat mereka berada menghadap ke layar mesin. Banyak ponsel kamera saat ini yang berfungsi seperti cermin cembung sehingga dapat mengarahkan kamera secara akurat untuk mengambil potret diri (Jordan, 2009).



Gambar 4.19 : Cermin Keamanan Toko



Gambar 4.20 : Kaca Spion Samping



Gambar 4.21 : Sebuah Cermin Keamanan Pada Sebuah Anjungan Tunai Mandiri

DAFTAR PUSTAKA

- Jordan, M. 2009. '*Light and Geometric Optics*'.
- Nirsal. 2012. 'Perangkat lunak pembentukan bayangan pada cermin dan lensa', *Jurnal Ilmiah d'Computare*, 2(1), pp. 24–33.
- Sparisoma Viridi1 dan Novitrian. 2014. Cahaya dan Optik: Pemantulan-Cermin dan Pembiasan-Lensa. *Jurnal: Pelatihan Penguatan Kompetensi Guru OSN Tingkat SMP & SMA se-Aceh Batch III*.
- Sears and Zemansky's. 2007. *University Physics 12th Edition. with Modern Physics*. Title: University Physics
- Suwarna, I.P. 2010. *Optik*. Duta Grafika: Bogor.
- Taurintyanna, D.A. 2009. 'Aplikasi alat bantu pembelajaran pembentukan bayangan pada lensa dan cermin berbasis multimedia', *Tugas Akhir*, pp. 14–26.

BAB 5

LENSA

Oleh Rusydi

5.1 Pendahuluan

Jika Anda pernah menggunakan mikroskop, teleskop, teropong, atau kamera, Anda telah bekerja dengan satu atau lebih lensa. Lensa adalah suatu bahan transparan yang melengkung dan halus berbentuk teratur sehingga ketika cahaya menerpa, cahaya membias dengan cara yang dapat diprediksikan. Sebagian besar lensa terbuat dari kaca transparan atau plastik yang sangat keras. Bahan-bahan ini memiliki beberapa sifat yang luarbiasa, misalnya kuat dan keras. Mereka juga bisa dibentuk dan dipoles. Dengan membentuk kedua sisi lensa, memungkinkan untuk menghasilkan berkas cahaya yang menyimpang atau menyatu saat melewati lensa. Aspek yang paling penting dari lensa adalah berkas cahaya yang dibiaskannya dapat digunakan untuk memperbesar gambar atau memproyeksikan gambar ke layar. Relatif terhadap objeknya, bayangan yang dihasilkan oleh lensa tipis bisa nyata atau maya, terbalik atau tegak, lebih besar atau lebih kecil. (Peatross & Michael, 2015)



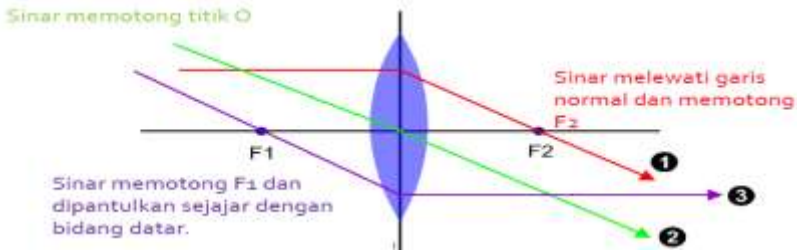
Gambar 5.1 : Beberapa bentuk terkait kedua lensa konvergen dan divergen

5.2 Apa itu Lensa?

- Lensa adalah benda bening (transparan) yang dibatasi oleh dua bidang lengkung. (Peatross & Michael, 2015)
- Lensa berbentuk silindris.

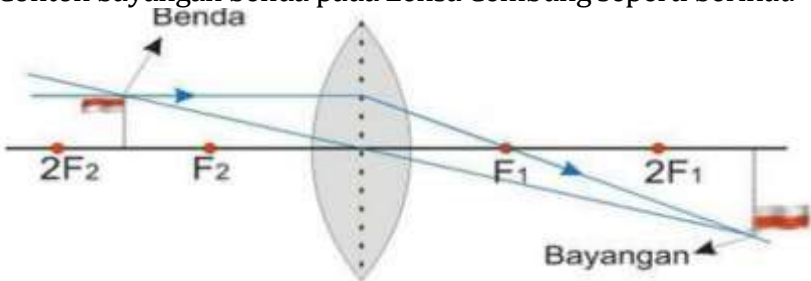
Lensa terdiri dari 2 jenis, yaitu :

1. Lensa Cembung (Concaf) bersifat Menyebarkan berkas cahaya (Divergen)



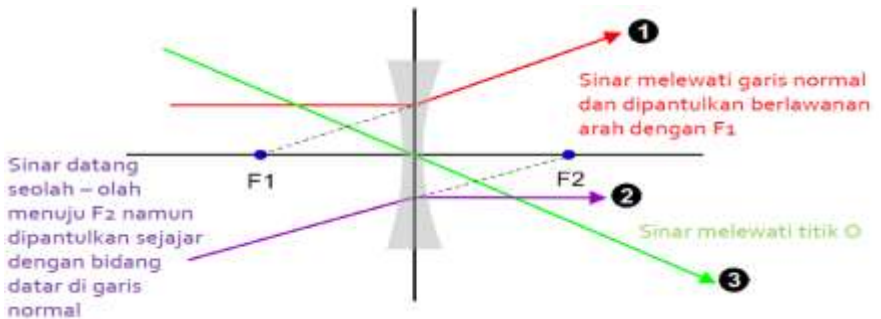
Gambar 5.2 : Pembiasan pada Lensa Cembung

Contoh bayangan benda pada Lensa Cembung seperti berikut.



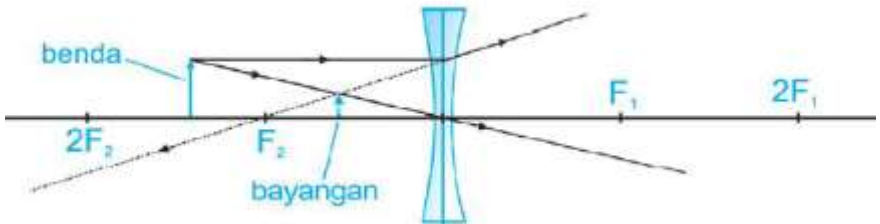
Gambar 5.3 : Berkas cahaya dan bayangan Lensa Cembung

2. Lensa Cekung (*Conveks*) bersifat mengumpulkan berkas cahaya (kovergen)



Gambar 5.4 : Berkas cahaya pada Lensa *Cekung*

Contoh Bayangan benda pada Lensa Cekun :

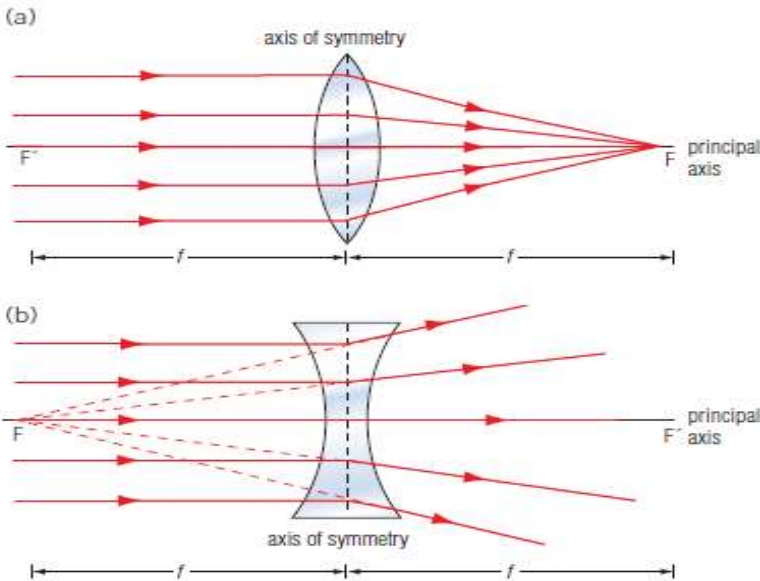


Gambar 5.5 : Bayangan benda pada Lensa Cekung

Kalau diringkaskan, maka :

- Sumbu utama adalah garis imajiner yang ditarik melalui pusat optik tegak lurus terhadap kedua permukaannya.
- Sumbu simetri adalah vertikal imajiner garis yang ditarik melalui pusat optik lensa.
- Kedua jenis lensa memiliki dua fokus utama. Titik fokus di mana cahaya datang ke suatu fokus atau tampaknya menyimpang dari fokus yang diberikan simbol F , sedangkan di sisi berlawanan dari lensa diwakili oleh F' .
- Panjang fokus, f , adalah jarak dari sumbu simetri ke fokus utama diukur sepanjang sumbu utama. Cahaya berperilaku dengan cara yang sama bergerak di kedua arah melalui

suatu lensa, kedua jenis lensa tipis memiliki dua panjang fokus yang sama.



Gambar 5.6 : Lensa Cembung dan Lensa Cekung

5.3 Kegunaan Lensa

Lensa Cembung digunakan pada :

1. Lup / kaca pembesar
2. Lensa Objektif pada mikroskop
3. Lensa Objektif pada teropong
4. Kacamata hipermetropi (rabun dekat)
5. Nilai dari fokus lensa adalah positif
6. Bersifat konvergen (mengumpulkan cahaya)

Lensa Cekung digunakan pada :

1. Lensa okuler pada teropong
2. Kacamata miopi (rabun jauh)
3. Lensa okuler pada mikroskop

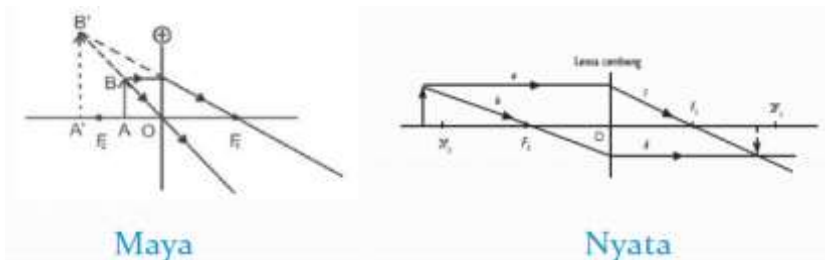
4. Bersifat divergen (menyebarkan cahaya)
5. Nilai dari focus lensa adalah negative (Peatross & Michael, 2015)

5.4 Pembiasan Pada Lensa

Bayangan Pada Lensa Secara Umum :

Jika bayangan berada pada sisi yang sama dengan benda, maka bersifat MAYA.

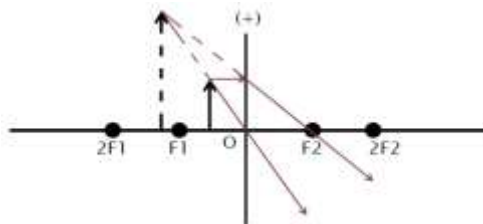
Jika bayangan berada sisi yang berbeda maka, bersifat NYATA.



Gambar 5.7 : Bayangan pada lensa

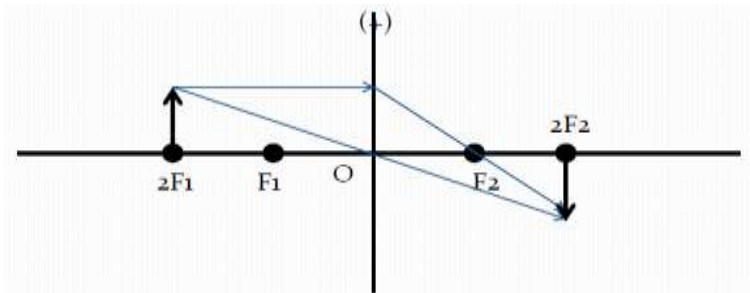
Sifat bayangan pada Lensa Cembung :

- Jika benda diletakkan antara titik O dan F_1 , maka bayangannya bersifat Maya, Tegak, dan diperbesar.



Gambar 5.8 : Pembiasan pada lensa cembung 1

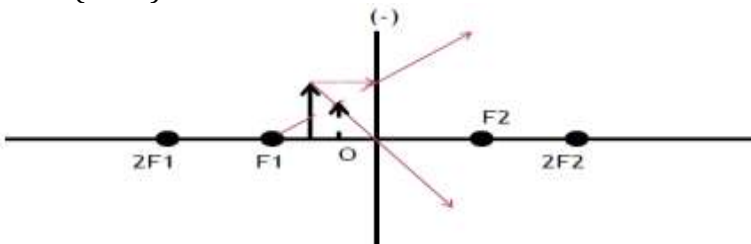
- Jika benda diletakkan pada titik F_1 , maka tidak ada bayangan



Gambar 5.9 : Pembiasan pada lensa cembung 2

Sifat bayangan pada Lensa Cekung :

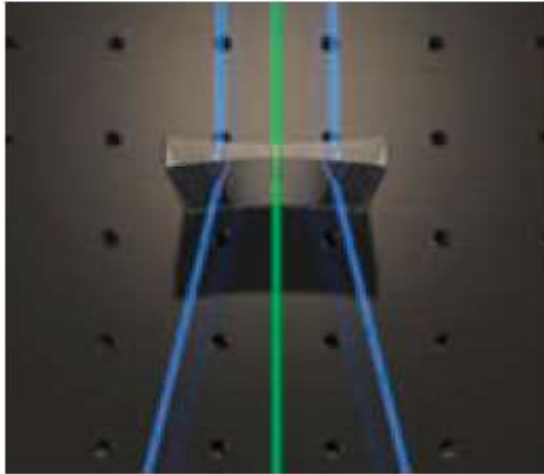
Sifat bayangan pada lensa cekung selalu maya, tegak dan diperkecil.(No. 4)



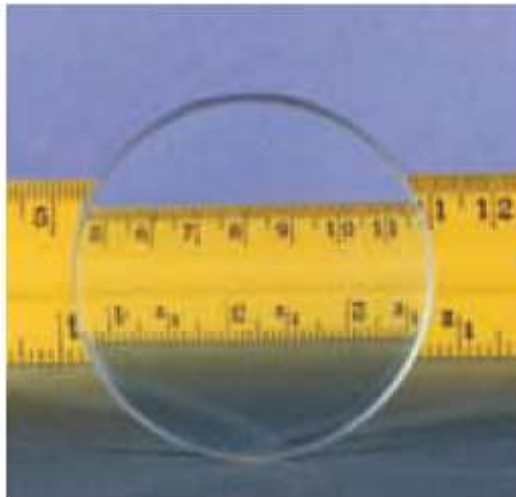
Gambar 5.10 : Pembiasan pada lensa cekung

5.5 Lensa Cekung (Lensa Divergen)

Lensa divergen kadang-kadang disebut lensa cekung karena bentuknya lebih tipis di tengah daripada di tepi. Saat sinar cahaya paralel lewat melalui lensa cekung dibiaskan menjauhi sumbu utama. Ini berarti sinar cahaya menyimpang dan mereka tidak akan pernah bertemu di sisi lain pada sisi lensa. Bayangan yang terbentuk selalu tegak dan lebih kecil dari objek .

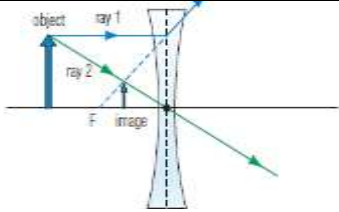


Gambar 5.11 : Lensa Cembung menyebabkan berkas cahaya dibiaskan (divergen)



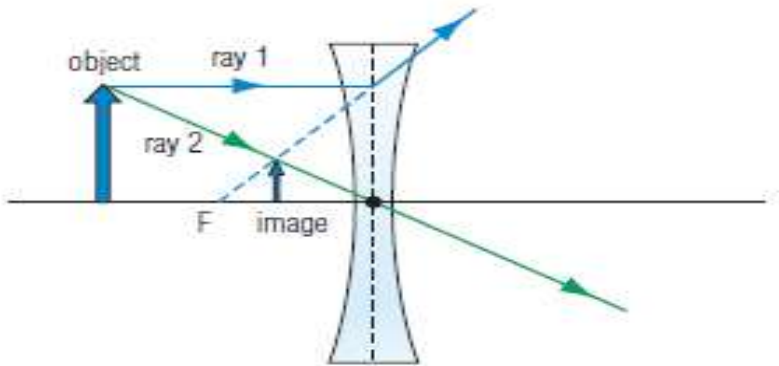
Gambar 5.12 : Lensa Cembung membentuk bayangan tegak dan diperkecil

Tabel 5.1 : Bentuk Bayangan pada Lensa *Cekung*

Jarak objek dari lensa	Jenis bayangan	Cara bayangan digunakan	Diagram Berkas
Sebarang Jarak	Tegak diperkecil	Beberapa jenis kacamata dan teleskop memanfaatkan dari sifat divergen dari lensa cekung. Dan sering digunakan di kombinasikan dengan lensa cekung	 The diagram illustrates the ray tracing for a concave lens. An object is placed to the left of the lens. Two rays are shown: Ray 1, which is parallel to the principal axis and diverges from the lens as if it came from the focal point (F) on the same side; and Ray 2, which passes straight through the optical center of the lens. The intersection of the backward extensions of these two rays forms a virtual, upright, and diminished image between the object and the lens.

Menggambar Diagram Sinar Lensa Cekung

Diagram bayangan pada lensa mirip dengan diagram bayangan pada cermin lengkung. Anda perlu menggunakan dua sinar untuk memprediksi lokasi gambar. Anda dapat mengikuti langkah-langkah pada Gambar 5.13 untuk menggambar diagram sinar pada lensa cekung.



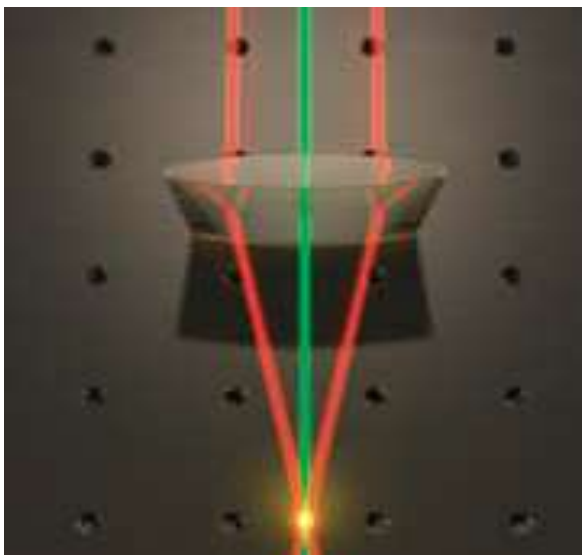
Gambar 5.13 : Menggambar berkas cahaya pada lensa cekung

Keterangan gambar 5.13 lensa cekung:

1. Sinar pertama dari diagram sinar lensa cekung merambat dari ujung objek sejajar dengan sumbu utama (sinar 1). Ketika muncul dari lensa, tampaknya berasal dari fokus utama.
2. Sinar kedua merambat dari ujung benda melalui pusat optik lensa dan tidak dibiaskan (sinar 2).
3. Gambarkanlah bayangan maya tempat sinar tampak memotong. (Peatross & Michael, 2015)

5.6 Lensa Cembung (Lensa Konvegen)

Lensa Cembung disebut juga Lensa konvergen karena lensanya lebih tebal pada bagian tengah daripada di bagian tepi. Jika seberkas cahaya merambat melalui sebuah lensa cembung, maka akan dibiaskan secara sejajar ke arah sumbu utama. Hal ini menyebabkan sinar bergerak searah satu sama lain. Sinar cahaya melintas di titik fokus lensa sebagaimana gambar dibawah ini.



Gambar 5.14 : Lensa Cekung berakibat berkas cahaya dibiaskan konvergen

Lensa konvergen sering digunakan sebagai kaca pembesar (lup) sebagaimana gambar di bawah ini.



Gambar 5.15 : Kaca Pembesar (Lup)

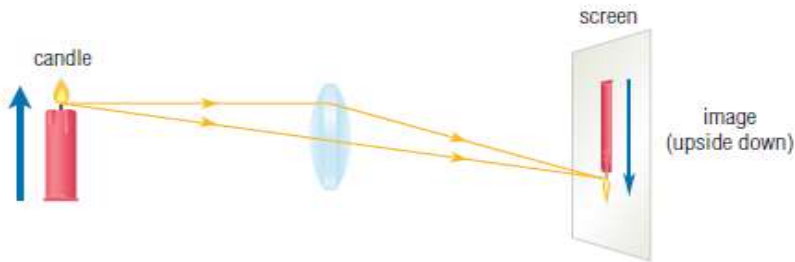
5.6.1 Lensa cembung membentuk bayangan nyata

Lensa cembung sangat berguna karena dapat membentuk bayangan nyata pada sebuah layar. Misalnya sinar cahaya yang datang dari satu titik pada titik fokus seperti pada Gambar 5.14 menyimpang dan menembus lensa di tempat yang berbeda. Namun, lensa mengalihkan semua sinar itu sehingga mereka bertemu pada satu titik.

Layar yang ditempatkan sedemikian rupa sehingga sinar cahaya menerpa persis seperti aslinya kita bertemu. Dengan cara ini, ketika sinar cahaya terpantul dari layar, cahaya datang dari satu titik, sama seperti ketika mereka awalnya meninggalkan satu titik titik pada benda, misalnya sebatang lilin.

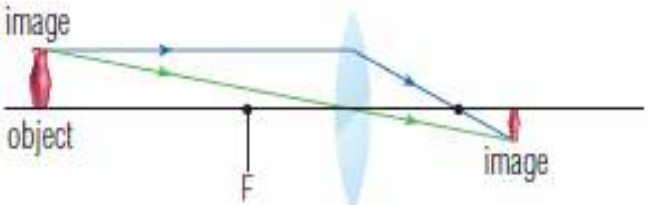
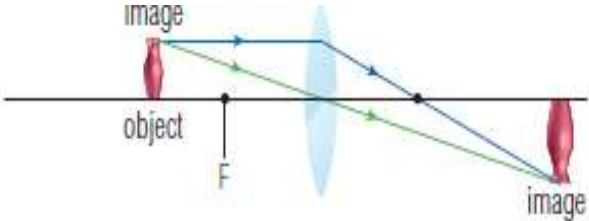
Pada saat yang sama, lensa juga harus mengarahkan semua sinar cahaya yang datang dari tempat lilin dan mebiaskannya ke satu titik di layar. Sinar kemudian memantulkan layar ke segala arah, seperti ketika sinar cahaya dari pangkal lilin dan kemudian meninggalkan lilin. Ketika sinar dari setiap titik pada lilin dikirim

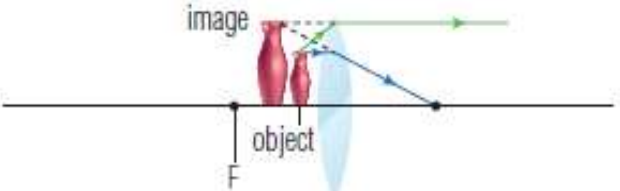
ke layar, sebuah gambar akan lengkap terbentuk. Kita dapat membandingkan jenis gambar yang terbentuk di jarak yang berbeda serta beberapa penggunaan lensa cembung seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.16 : Bayangan yang terbentuk pada Lensa Cembung

Tabel 5.2 : Pembentukan bayangan benda pada lensa cembung

Jaran Benda ke Lensa	Jenis Bayangan Terbentuk	Pemanfaatan Lensa Sehari-hari	Diagram Berkas di Lensa Cembung
Lebih dari $2x$ jarak titik fokus lensa	Lebih kecil, terbalik, dan nyata.	Sebuah kamera menggunakan ini jarak untuk membuat gambar yang lebih kecil dari sebuah obyek	
Antara $1x$ atau $2x$ jarak titik fokus lensa	Lebih besar, terbalik dan nyata.	Pembesar pada fotografi, slid proyektor, dan proyektor menggunakan lensa cembung	

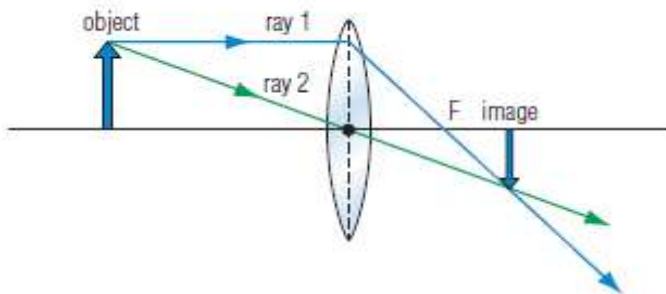
Jaran Benda ke Lensa	Jenis Bayangan Terbentuk	Pemanfaatan Lensa Sehari-hari	Diagram Berkas di Lensa Cembung
Kurang dari 1 x jarak fokus	Lebih besar, tegak dan tidak nyata (semu).	Kaca pembesar (Lup) dan kacamata baca memanfaatkan lensa cembung	

5.6.2 Cara menggambar diagram sinar lensa cembung

Langkah-langkah untuk menggambar diagram sinar pada sebuah

lensa cembung adalah seperti pada Gambar 15 berikut ini.

1. Sinar datang (benda) menuju lensa cembung merambat dari ujung lensa merambat sejajar sumbu utama (sinar 1). Bayangan muncul dari lensa yang melewati fokus utama.
2. Sinar kedua datang dan merambat dari ujung benda melalui pusat optik lensa dan tidak dibiaskan (sinar 2).
3. Gambar bayangan muncul di tempat berpotongan dari dua pembiasan menjadi sinar tampak (bayangan nyata/sejati). (Peatross & Michael, 2015)



Gambar 5.17 : Menggambar bayangan dari benda pada lensa cembung

5.7 Persamaan pada Lensa

Persamaan yang berlaku pada Lensa adalah :

Jika jarak benda dari lensa d_o , jarak bayangan dari lensa d_i , dan panjang fokus lensa, f , maka semuanya dapat dihubungkan dengan menggunakan ***persamaan lensa***. Jika diketahui besarnya jarak dari besaran dua jarak, kita dapat menggunakan persamaan lensa ini untuk menyelesaikan persoalannya.

Persamaan yang berlaku untuk Pembiasan (bayangan) pada lensa adalah sebagaimana rumusan pada persamaan di bawah ini :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana f = panjang Fokus lensa

d_o = jarak benda dari lensa

d_i = jarak bayangan dari dari lensa

Hal yang perlu diperhatikan ketika bekerja pada lensa cembung seperti dapat kita liha di Tabel 5.3 dibawah ini:

Tabel 5.3 : Bayangan yang terbentuk pada lensa cembung

Jenis Lensa	Jarak Fokus	Jarak Benda	Jarak ke Bayangan
Cembung	Positif	Potitif	Positif atau negatif sangat tergantung pada lokasi benda

- Lensa cekung memiliki panjang fokus negatif dan jarak negatif ke bayangan.
- Lensa cembung memiliki panjang fokus positif dan positif atau jarak negatif ke bayangan, tergantung di mana objek ditempatkan.
- Jarak bayangan d_i adalah positif jika bayangan bersifat nyata dan negatif jika bayangan bersifat maya. (Peatross & Michael, 2015)

5.8 Kekuatan Lensa

Jika kita termasuk orang yang memakai kacamata dalam kehidupan sehari-hari, maka berapakah kekuatan lensa kacamata yang kita gunakan? Kekuatan lensa menunjukkan besarnya panjang jari-jari kelengkungan lensa pada suatu kacamata yang kita gunakan. Kekuatan lensa juga merupakan kemampuan lensa

untuk mengumpulkan atau memancarkan cahaya. Kekuatan lensa berbanding terbalik dengan besar jarak fokusnya.

Sehingga Kekuatan Lensa dapat kita hitung dengan persamaan :

$$P = \frac{100}{f} \dots\dots (2)$$

dimana P = Kekuatan Lensa (dalam dioptri)

f = Fokus Lensa (dalam cm)

Untuk lensa cembung Kekuatan Lensa P bernilai positif (+), sedangkan kekuatan Lensa pada lensa cekung diberi tanda negatif (-). Satuan dioptri untuk Kekuatan Lensa sering tidak dituliskan, seperti kacamata +1 berarti Kekuatan Lensa tersebut bernilai 1 dioptri dengan jenis lensanya lensa cembung, begitu bila sebaliknya bernilai negatif -1, jenis lensa cekung dengan Kekuatan Lensanya sebesar 1 dioptri. (Peatross & Michael, 2015)

Titik jauh dan titik dekat mata :

- Penderita miopi mempunyai titik jauh yang terbatas, sedangkan titik dekatnya tidak terbatas, maka penderita tersebut disebut mempunyai Rabun Dekat
- Sedangkan penderita yang mempunyai hipermetropi memiliki titik dekatnya lebih dari 25 cm, sehingga disebut penderita ini sebagai penderita penyakit mata Rabun Dekat.

Pembuatan Lensa Tipis :

Pembuatan lensa tipis dapat dilakukan mengikuti persamaan berikut ini;

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)\dots\dots (3)$$

dimana f = fokus lensa

n_2 = indeks bias bahan lensa

n_1 = indeks bias medium sekitar (udara)

R_1 = jari-jari kelengkungan 1

R_2 = jari-jari kelengkungan 2 (Peatross & Michael, 2015)

DAFTAR PUSTAKA

- Antonio Romano And Roberto Cavaliere, 2016. *Geometric Optics Theory and Design of Astronomical Optical Systems Using Mathematica*, Springer International Publishing Switzerland.
- Grant R. Fowlers, Secon Edition, *Introduction To Modern Optics*, New York, Dover Publication.
- Halliday And Resnick, Edisi 10, 2014. *Fundamentals Of Physics*, USA, John Wiley & Sons.
- Justin Peatross and Michael Ware, 2014, *Physics of Light and Optics*, Brigham Young University.
- Lipson, A., Lipson, FRS., 2011. *Optical Physics*, New York, Cambridge Unevesity Press.
- Max Born And Emil Wolf, 2013. *Principle of Optics*, Cambridge Unevesity Press.
- Warren J. Smith, 2000. *Modern Optical Engineerin : The Design of Optical Systems*, McGraw-Hill.

BAB 6

PEMBIASAN

Oleh Rianto Wibowo

6.1 Pendahuluan

Pada awalnya orang meyakini bahwa sumber cahaya mengeluarkan cahaya berupa aliran zarah (corpuscle) yang merambat dengan lintasan lurus. Saat cahaya mengenai bahan, maka akan diteruskan atau dipantulkan. Pada bahan transparan, cahaya akan menembus atau diteruskan, sedangkan pada benda tak bening (opaque) akan dipantulkan. Mata manusia yang dilengkapi dengan syaraf penglihatan akan merespon saat cahaya berupa zarah mengenainya, sehingga mata dapat melihat objek/benda.

Christian Huygens (1629-1695) pada tahun 1678 berhasil merumuskan teori gelombang untuk menjelaskan peristiwa pemantulan dan pembiasan cahaya saat mengenai benda.

Perkembangan berikutnya menunjukkan bahwa teori cahaya memiliki sifat sebagai gelombang yang dikemukakan Huygens menjadi dasar bagi ilmuwan lain dalam membuktikan bahwa cahaya memiliki sifat sebagai gelombang. Thomas Young (1773-1829) memanfaatkan teori cahaya sebagai gelombang untuk menjelaskan fenomena interferensi dan Leon Foucault mampu berhasil menentukan cepat rambat cahaya dalam cairan.

Fenomena-fenomena tersebut tidak dapat dijelaskan dengan menggunakan teori cahaya sebagai zarah, namun hanya dapat dijelaskan dengan teori bahwa cahaya merupakan gelombang. (Indarko dan Yudoyono, G. 2007)

6.2 Indeks Bias

6.2.1 Indeks bias Mutlak.

Indeks bias sebuah medium menjadi indikasi kondisi kerapatan partikel medium tersebut. Ada dua nilai indeks bias, yakni indeksi bias mutlak dan indeks bias relatif. Indeks bias mutlak sebuah medium didapatkan dari perhitungan hasil bagi antara besarnya kecepatan / laju cahaya di udara terhadap besarnya kecepatan/laju cahaya saat melintas pada medium tersebut (Nurlina dan Riskawati, 2017). Secara matematis ditulis :

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

dengan :

- n = indeks bias mutlak suatu medium,
- c = kecepatan cahaya di udara/ hampa = 3 x 10⁸ m/s
- v = kecepatan cahaya pada medium yang dimaksud.

Besarnya nilai indeks bias mutlak sebuah medium (n) tidak pernah lebih kecil dari 1 (artinya, n ≥ 1), seperti terlihat pada tabel 6.1 dibawah ini.

Tabel 6.1 : Nilai indeks bias mutlak medium

Medium	n = c/v
Udara Hampa	1,0000
Udara (pada STP)	1,0003
Air	1,333
Es	1,31
Alkohol etil	1,36
Gliserol	1,48
Blenzena	1,50
Kaca	
Kaca Kuarsa	1,46
Kaca Keron	1,52
Api Cahaya/Kaca Flinta	1,58

Medium	$n = c/v$
Lucite/Pelxiglass	1,51
Garam Dapur (NaCl)	1,53
Berlian	2,42

Sumber : Nurlina dan Riskawati, 2017

6.2.2 Indeks Bias Relatif

Indeks bias relatif medium terhadap medium lain merupakan perbandingan antara indeks bias suatu medium terhadap indeks bias medium lain (Nurlina dan Riskawati, 2017). Cahaya saat merambat pada dua medium yang berbeda, maka kecepatan (v) dan panjang gelombang (λ) cahaya tersebut akan berbeda pula. Nilai indeks bias (n) medium berbanding terbalik dengan besarnya kecepatan (v) dan panjang gelombangnya (λ). Persamaan indeks bias relatif antara medium 1 terhadap medium 2 dituliskan sebagai berikut :

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

dengan :

n_{12} = indeks bias relatif antara medium 1 terhadap medium 2

n_1 = indeks bias mutlak medium 1

n_2 = indeks bias mutlak medium 2

v_1 = kecepatan cahaya pada medium 1

v_2 = kecepatan cahaya pada medium 2

λ_1 = panjang gelombang cahaya pada medium 1

λ_2 = panjang gelombang cahaya pada medium 2

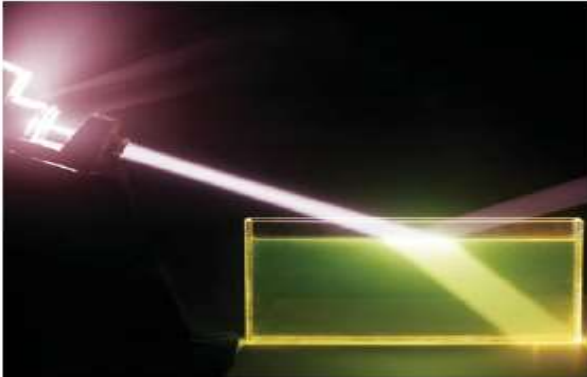
6.3 Pembiasan

Pembiasan Cahaya merupakan perubahan arah rambat cahaya saat melewati bidang batas antara dua medium yang berbeda kerapatannya. Pembiasan terjadi apabila sinar datang membentuk sudut tertentu (tidak tegak lurus atau tidak sejajar) terhadap bidang batas. Pada peristiwa pembiasan, beberapa

besaran cahaya mengalami perubahan yakni arah, cepat rambat dan panjang gelombang. Sebaliknya terdapat besaran yang tidak berubah atau tetap yakni frekuensi dan fase gelombang.

Saat cahaya merambat dari suatu medium menuju ke udara atau sebaliknya merambat dari udara menuju suatu medium tertentu, maka akan terjadi fenomena (gambar 6.1) sebagai berikut:

- a) Jika cahaya merambat secara tegak lurus (sudut datang = 0°) terhadap bidang pembatas antara medium dan udara, maka cahaya akan diteruskan atau tidak mengalami perubahan arah / dibiaskan.
- b) Tetapi, jika cahaya merambat ke bidang batas tidak tegak lurus terhadap bidang pembatas udara dan medium (sudut datang $> 0^\circ$) maka cahaya akan mengalami perubahan arah rambat atau mengalami pembiasan. (Abullah, M., 2017)



Gambar 6.1 : Pembiasan Pada Batas Bidang Air dan Udara
(sumber : Halliday & Resnick, 2014)

6.3.1 Hukum Snellius

Pada gambar 6.2 terlihat sebuah berkas sinar/cahaya datang dari sebuah medium dengan nilai indeks bias n_1 dengan sudut datang θ_d dan dibiaskan menuju medium dengan nilai indeks bias n_2 dengan sudut bias θ_b .

Hukum Snellius untuk pembiasan cahaya

$$n_1 \cdot \sin \theta_d = n_2 \sin \theta_b$$

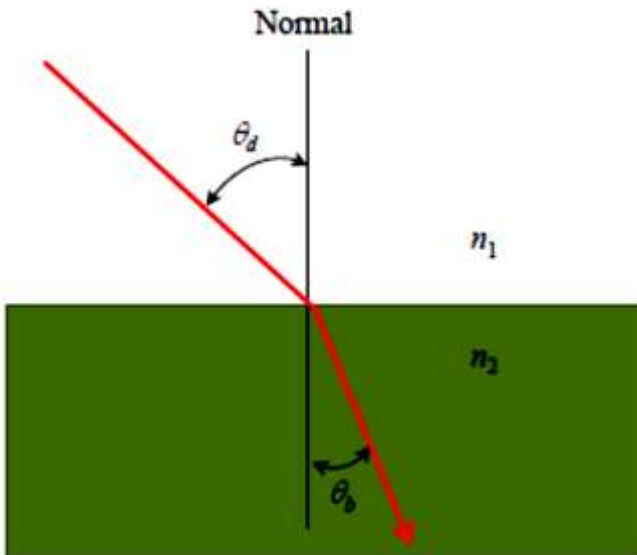
dimana

n_1 : nilai indeks bias medium 1

n_2 : nilai indeks bias medium 2

θ_d : sudut datang peristiwa pembiasan, dan

θ_b : sudut bias peristiwa pembiasan.



Gambar 6.2 : Arah sinar dari medium n_1 ke medium n_2
(Sumber : Abdullah,M. 2017)

6.3.2 Pembuktian Hukum Snellius

Pada gambar 6.3 terlihat bahwa seberkas sinar/cahaya merambat dari titik A di medium dengan indeks bias n_1 ke titik C di medium dengan indeks bias n_2 . Terdapat 3 lintasan yang mungkin dapat dipilih oleh cahaya agar sampai di titik C, dengan lintasan minimum jika sinar melalui lintasan A-B-C atau lintasan (2)

Berdasar gambar koordinat titik A adalah (x_1, y_1) dan koordinat titik C adalah (x_2, y_2) . Jika berkas sinar/cahaya merambat mengikuti lintasan A-B-C atau lintasan (2), maka cahaya akan melewati titik B pada bidang batas kedua medium. Bidang batas dianggap sebagai sumbu x, maka koordinat titik B adalah $(x, 0)$. Jarak tempuh cahaya dari A menuju C dengan mengikuti lintasan (2), dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$AB = \sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}$$

$$BC = \sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}$$

Kecepatan cahaya merambat pada medium 1 dan medium 2 dapat ditentukan dengan persamaan :

$$v_1 = \frac{c}{n_1}$$

$$v_2 = \frac{c}{n_2}$$

Waktu tempuh oleh berkas sinar/cahaya untuk merambat dari titik A ke titik C melalui lintasan (2) adalah :

$$\begin{aligned} t &= \frac{AB}{v_1} + \frac{BC}{v_2} \\ &= \frac{n_1}{c} \sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2} + \frac{n_2}{c} \sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2} \end{aligned}$$

Persamaan waktu (t) diatas menunjukkan bahwa waktu tempuh akan minimum jika turunan waktu tempuh terhadap jarak x adalah nol, atau

$$\frac{dt}{dx} = 0$$

Hasil diferensiasi dari persamaan waktu adalah :

$$\frac{n_1}{c} \frac{x - x_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}} + \frac{n_2}{c} \frac{x - x_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}} = 0$$

Pada gambar 6.3 menunjukkan bahwa $(x - x_1)$ bertanda positif sehingga

$$\frac{x - x_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}} = \sin \theta_d$$

sedangkan $(x - x_2)$ bertanda negatif, maka :

$$\frac{x - x_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}} = -\sin \theta_b$$

Nilai $(\sin \theta_d)$ dan $(-\sin \theta_b)$ yang didapatkan pada kedua persamaan diatas, disubstitusikan pada persamaan

$$\frac{n_1}{c} \frac{x - x_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}} + \frac{n_2}{c} \frac{x - x_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}} = 0$$

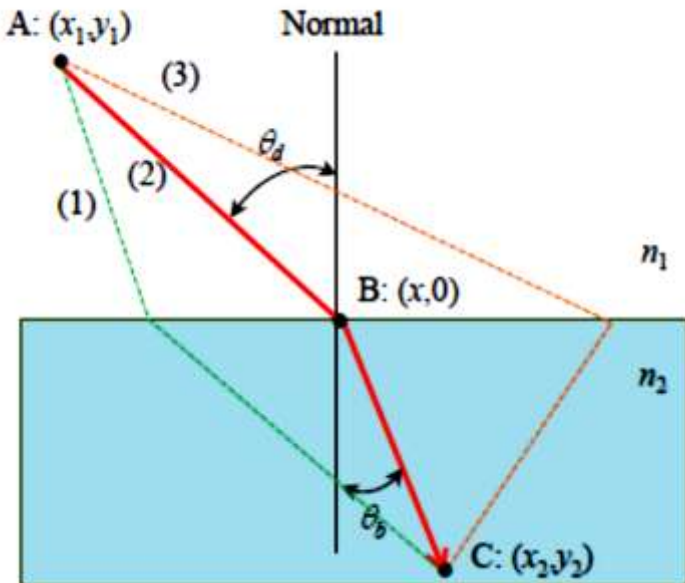
Selanjutnya didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{n_1}{c} \cdot \sin \theta_d + \frac{n_2}{c} (-\sin \theta_b) = 0$$

Atau

$$n_1 \cdot \sin \theta_d = n_2 \sin \theta_b$$

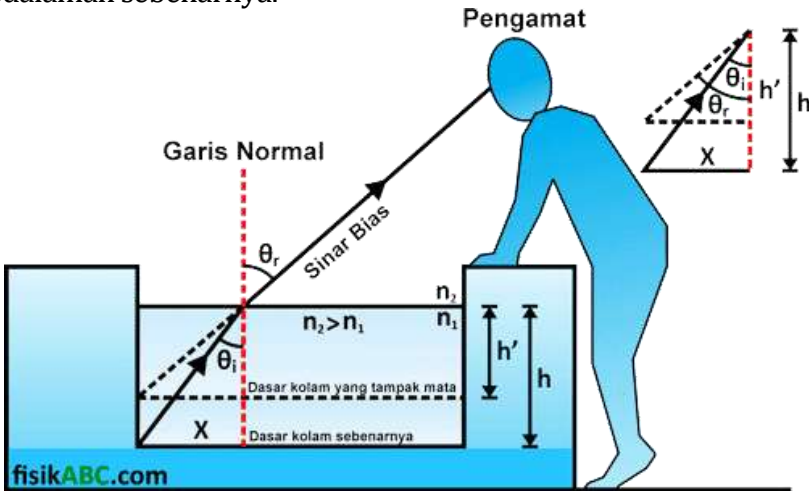
Hasil akhir persamaan diatas merupakan hukum Snellius.



Gambar 6.3 : Pembuktian hukum Snellius
(sumber : Abullah, M. : 2017)

6.4 Jarak Bayangan Pada Pembiasan

Peristiwa pembiasan menyebabkan dasar kolam yang berisi air terlihat lebih dangkal dari pada kedalaman sebenarnya. Cahaya berasal dari benda menuju mata pengamat melewati batas medium air dan udara, lintasan cahaya saat melewati batas medium dibelokkan menjauhi garis normal ($n_{\text{air}} > n_{\text{udara}}$). Dapat disimpulkan bahwa cahaya yang diterima mata pengamat adalah cahaya atau sinar bias. Bayangan dasar kolam yang terlihat oleh pengamat didapatkan dari perpanjangan sinar bias hingga jarak mendatar (x) terhadap garis normal, bayangan ini terlihat lebih dangkal dari kedalaman sebenarnya.



Gambar 6.4 : Pembentukan bayangan dasar kolam
(Sumber : fisikABC.com)

Berdasarkan diagram jalannya sinar pada pengamatan dasar kolam, didapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\tan \theta_l}{\tan \theta_r} = \frac{\frac{x}{h}}{\frac{x}{h'}}$$

$$\frac{\frac{\sin \theta_l}{\cos \theta_l}}{\frac{\sin \theta_r}{\cos \theta_r}} = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{\sin \theta_l}{\sin \theta_r} \times \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_l} = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{n_2}{n_1} \times \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_l} = \frac{h'}{h}$$

Jika posisi pengamat melihat dasar kolam secara tegak lurus, maka besarnya sudut $\theta_i = \theta_r = 0^\circ$, dan didapatkan nilai $\frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_l} = 1$, sehingga persamaan akan menjadi :

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{h'}{h}$$

$$h' = \frac{n_2}{n_1} \times h$$

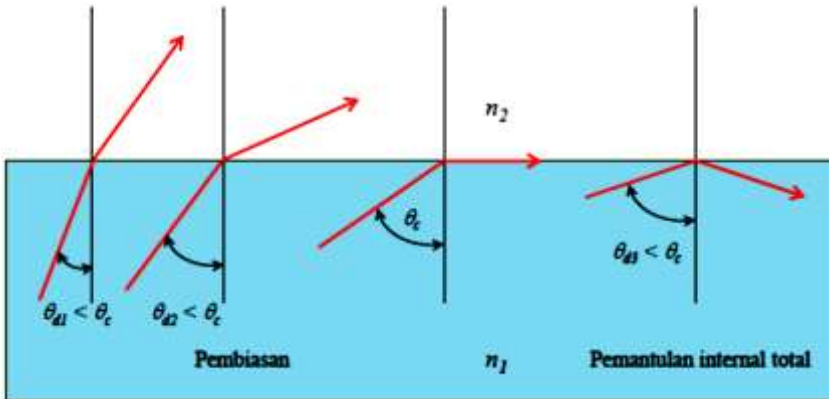
$$h' = \frac{n_{udara}}{n_{air}} \times h$$

Besarnya indeks bias air lebih besar daripada indeks bias udara ($n_{air} > n_{udara}$), maka besarnya h' lebih kecil dari pada h ($h' < h$) atau kedalaman dasar kolam nampak lebih dangkal dibandingkan dengan kedalaman dasar kolam yang sebenarnya.

6.5 Pemantulan Internal Total.

Peristiwa pemantulan total dapat terjadi saat cahaya datang dari medium rapat menuju ke medium yang lebih renggang. Berdasar hukum Snellius, cahaya yang datang dari medium rapat (indeks bias tinggi) menuju medium yang lebih renggang (indeks bias kecil) maka sudut bias akan lebih besar daripada sudut datang atau sinar bias menjauhi garis normal. Jika sudut datang diperbesar

terus maka sudut bias makin besar seperti diilustrasikan pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5 : Peristiwa Pemantulan Internal Total
(Sumber : Abdullah,M. : 2017)

Saat pembiasan menghasilkan sudut bias 90° atau sinar bias berhimpit dengan bidang batas kedua medium, berarti $\theta_b = 90^\circ$ atau $\sin \theta_b = 1$. Menurut hukum Snellius akan didapatkan :

$$\sin \theta_d = \frac{n_2}{n_1}$$

Kesimpulan dari persamaan di atas adalah bahwa jika cahaya datang dari medium rapat (indeks bias besar) menuju ke medium yang lebih renggang (indeks bias kecil) dengan sudut datang (θ_d) yang memenuhi $\sin \theta_d = \frac{n_2}{n_1}$, maka cahaya akan dibiaskan dengan sudut bias sebesar 90° .

Sudut θ_d yang menghasilkan sudut bias 90° selanjutnya disebut dengan **sudut kritis** dan disimbolkan θ_c .

Saat percobaan dilanjutkan dengan sudut datang cahaya yang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tidak lagi akan mengalami peristiwa pembiasan, namun cahaya tersebut akan

dipantulkan kembali pada medium berasalnya sumber cahaya tersebut. Fenomena cahaya tidak sanggup masuk ke medium kedua ini disebut **pemantulan total internal**.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2017. *Fisika Dasar II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Nurlina dan Riskawati, 2017. *Fisika Dasar I*. Makasar : Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makasar.
- Halliday & Resnick, 2014. *Fundamentals of Physics*. New Jersey : John Wiley and Sons.
- Vogel, H. 2013. *Fisika Listrik Magnet dan Optik*. (Musbach, terjemahan). Jakarta: Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Indarko dan Yudoyono, G. 2007. *Modul Fisika*. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional, Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri.
- fisikaABC.com, *pembiasan-cahaya-oleh-air*, November 2017. <https://www.fisikabc.com/2017/11/pembiasan-cahaya-oleh-air.html>. (diakses : 5 Januari 2023)

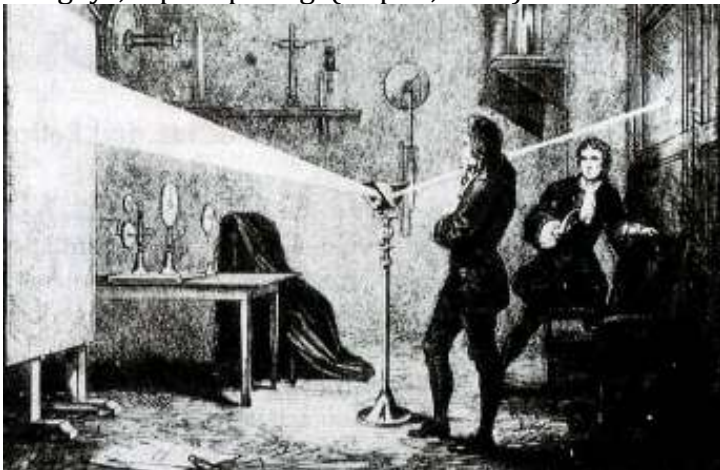
BAB 7

PRISMA

Oleh Rasydah Nur Tuada

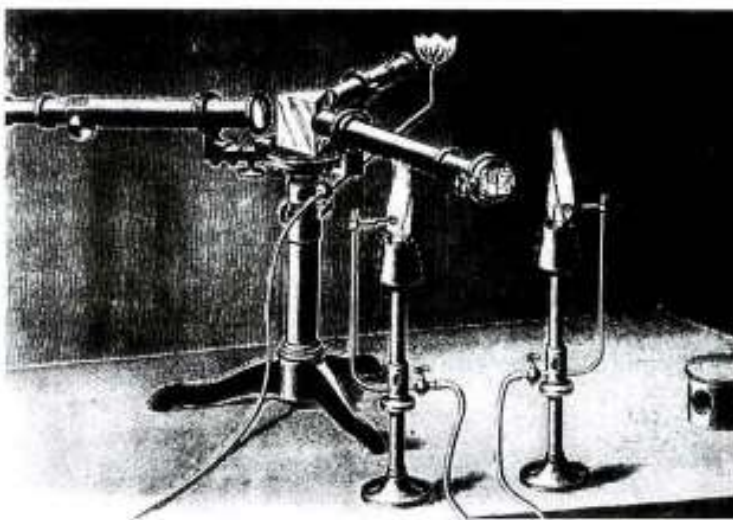
7.1 Spektrum Cahaya Pada Prisma

Newton adalah orang pertama yang menyadari bahwa cahaya putih merupakan campuran cahaya dari semua warna dengan intensitas yang kira-kira sama. Dia mendemonstrasikannya dengan membiarkan sinar matahari jatuh pada prisma dan mengamati spektrum cahaya yang dibiaskan (Gambar 7-1). Karena sudut pembiasan yang dihasilkan oleh prisma dipengaruhi oleh panjang gelombang, sinar yang dibiaskan tersebar di ruangan menjadi komponen warna atau berdasarkan panjang gelombangnya, seperti pelangi (Tripler, 2007).



Gambar 7.1 : Newton mendemonstrasikan spektrum sinar matahari dengan prisma
(Sumber : Tripler,2007)

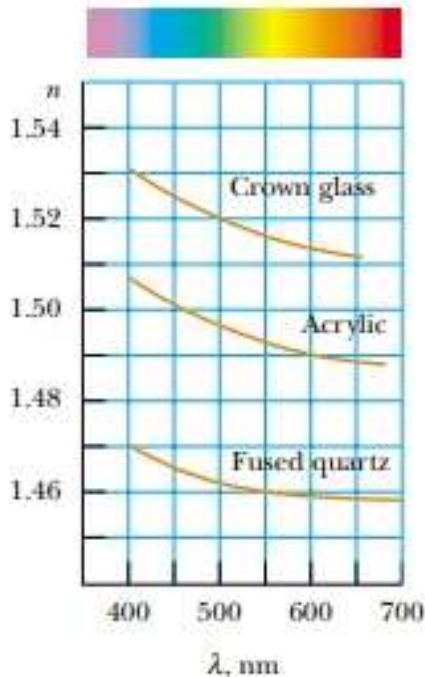
Gambar 7.1 menunjukkan spektroskop, yaitu alat untuk menganalisis spektrum sumber cahaya. Cahaya dari sumber melewati celah sempit, melintasi lensa untuk membuat sinar sejajar, dan jatuh pada prisma. Sinar yang dibiaskan dilihat dengan teleskop, dipasang pada platform yang berputar sehingga sudut sinar yang dibiaskan dapat diukur bergantung pada panjang gelombangnya. Spektrum sumber cahaya dapat dianalisis dalam hal panjang gelombang komponennya. Spektrum sinar matahari mengandung rentang panjang gelombang yang kontinu dan oleh karena itu disebut spektrum kontinu. Cahaya yang dipancarkan oleh atom-atom dalam gas bertekanan rendah, seperti atom merkuri dalam lampu neon, hanya mengandung satu set panjang gelombang yang terpisah. Setiap panjang gelombang yang dipancarkan oleh sumber menghasilkan gambar terpisah dari celah di spektroskop. Spektrum seperti itu disebut spektrum garis (Tipler, 2007). Spektrum tampak kontinu dan spektrum garis dari beberapa elemen ditunjukkan dalam foto pada gambar 8.2.



Gambar 7.2 : Spektroskop akhir abad ke-19 milik Gustav Kirchhoff
(Sumber : Tripler,2007)

7.2 Pembiasan Pada Prisma

Sifat penting dari indeks refraksi n adalah bahwa, untuk bahan tertentu indeks bervariasi dengan panjang gelombang cahaya yang melewati bahan, seperti yang ditunjukkan Gambar 8.3. Ketergantungan indeks bias pada panjang gelombang disebut dispersi. Karena n adalah fungsi dari panjang gelombang, hukum pembiasan Snell menunjukkan bahwa cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda dibelokkan pada sudut yang berbeda ketika mengenai bahan pembiasan (Serway, 2016).

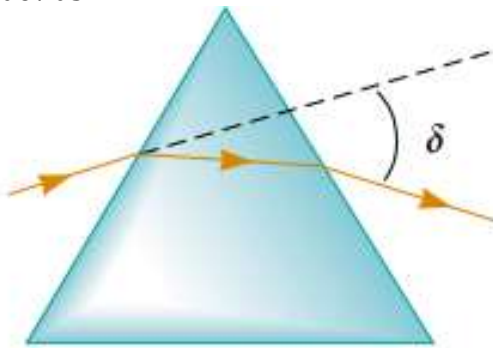


Gambar 7.3 : Variasi indeks bias dengan panjang gelombang vakum untuk tiga bahan.
(Sumber : Serway,2016)

Seperti yang kita lihat dari Gambar 7.3, indeks bias umumnya menurun dengan bertambahnya panjang gelombang. Ini

berarti bahwa cahaya ungu membelok lebih banyak daripada cahaya merah ketika melewati bahan pembiasan. Ketika seberkas cahaya putih datang pada suatu sudut pada permukaan kaca prisma, sudut refraksi (yang diukur relatif terhadap normal) untuk panjang gelombang yang lebih pendek sedikit lebih kecil daripada sudut refraksi untuk panjang gelombang yang lebih panjang. Oleh karena itu, cahaya dengan panjang gelombang lebih pendek (menuju spektrum ungu) dibelokkan ke arah normal daripada cahaya dengan panjang gelombang lebih panjang. Berkas cahaya putih dengan demikian menyebar ke dalam komponen warna atau panjang gelombangnya masing-masing.

Untuk memahami efek dispersi terhadap cahaya, pertimbangkan apa yang terjadi ketika cahaya menumbuk prisma, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4. Seberkas cahaya dengan panjang gelombang tunggal datang pada prisma dari kiri muncul dibiaskan dari arah perjalanan aslinya dengan sudut δ , disebut sudut deviasi.



Gambar 7.4 : Sebuah prisma membiaskan sinar cahaya dengan panjang gelombang tunggal melalui sudut.

(Sumber : Serway,2016)

Sekarang misalkan seberkas cahaya putih (kombinasi dari semua panjang gelombang tampak) datang pada sebuah prisma, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7.4. Sinar yang muncul menyebar dalam rangkaian warna yang dikenal dengan spektrum

tampak. Warna-warna ini, dalam urutan penurunan panjang gelombang, adalah merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu. Jelas, sudut deviasi 3 tergantung pada panjang gelombang. Cahaya ungu menyimpang paling banyak, merah paling sedikit, dan warna yang tersisa dalam spektrum yang terlihat berada di antara ekstrem ini. Newton menunjukkan bahwa setiap warna memiliki sudut deviasi tertentu dan warna dapat digabungkan kembali untuk membentuk cahaya putih asli.

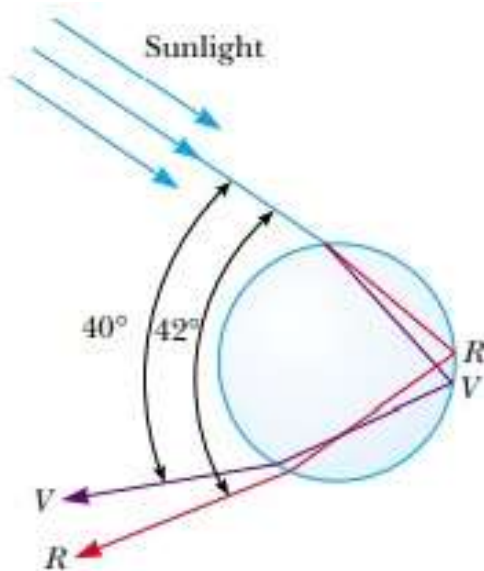


Gambar 7.5 : Pembiasan cahaya pada prisma.
(Sumber : Serway,2016)

Berdasarkan gambar 7.5 cahaya putih memasuki prisma kaca di kiri atas. Seberkas cahaya yang dipantulkan keluar dari prisma tepat di bawah sinar yang masuk. Balok yang bergerak ke arah kanan bawah menunjukkan warna yang berbeda. Warna yang berbeda dibiaskan pada sudut yang berbeda karena indeks bias kaca bergantung pada panjang gelombang. Cahaya ungu

menyimpang paling banyak; cahaya merah menyimpang paling sedikit.

Dispersi cahaya menjadi spektrum ditunjukkan paling jelas di alam dengan pembentukan pelangi, yang sering terlihat oleh pengamat yang berada di antara Matahari dan hujan (Heinen, 2005). Untuk memahami bagaimana pelangi terbentuk, perhatikan Gambar 8.6. Seberkas sinar matahari (yang merupakan cahaya putih) yang melintas di atas kepala menumbuk setetes air di atmosfer dan dibiaskan serta dipantulkan sebagai berikut: Pertama-tama dibiaskan di permukaan depan tetesan, dengan cahaya ungu menyimpang paling banyak dan cahaya merah paling rendah. Di permukaan belakang tetesan, cahaya dipantulkan dan kembali ke permukaan depan, di mana cahaya kembali mengalami pembiasan saat bergerak dari air ke udara. Sinar meninggalkan titik sedemikian rupa sehingga sudut antara cahaya putih yang datang dan sinar ungu yang kembali paling kuat adalah 40° dan sudut antara cahaya putih dan sinar merah yang kembali paling kuat adalah 42° . Perbedaan sudut kecil antara sinar yang kembali ini menyebabkan kita melihat busur berwarna.

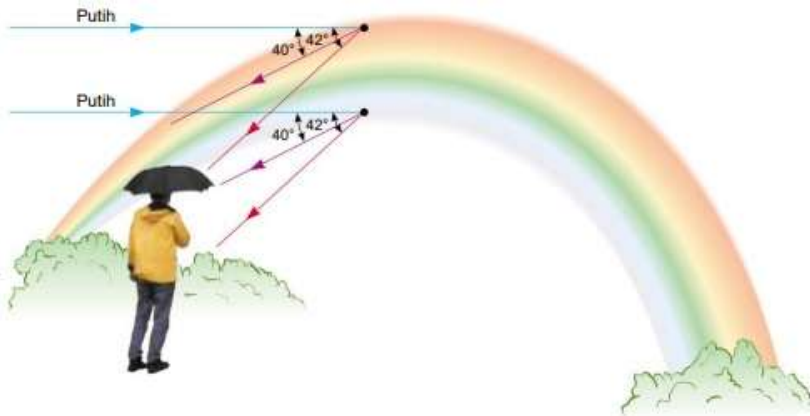


Gambar 7.6 : Lintasan sinar matahari melalui tetesan air hujan berbentuk bola. Cahaya yang mengikuti jalur ini berkontribusi pada pelangi yang terlihat.
(Sumber : Serway,2016)

Representasi bergambar seperti Gambar 7.6 menunjukkan satu sinar cahaya yang memasuki titik hujan dan mengalami pemantulan dan pembiasan, keluar dari titik hujan dalam jarak 40° hingga 42° dari sinar yang masuk. Ini mungkin diinterpretasikan secara tidak benar sebagai arti bahwa semua cahaya yang masuk ke dalam rintik hujan keluar dalam rentang sudut yang kecil ini. Pada kenyataannya, cahaya keluar dari rintik hujan dengan rentang sudut yang jauh lebih besar, dari 0° hingga 42° . Analisis yang cermat terhadap refleksi dan refraksi dari butiran hujan bulat menunjukkan bahwa kisaran 40° hingga 42° adalah tempat intensitas cahaya tertinggi keluar dari tetesan hujan.

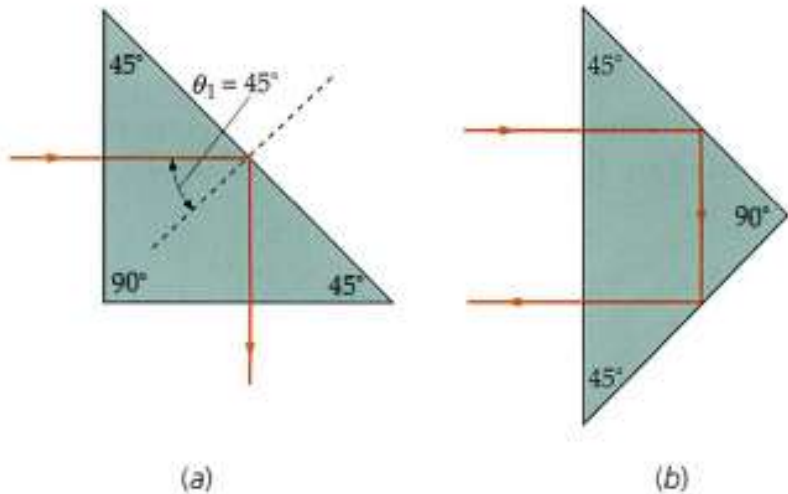
Sekarang misalkan seorang pengamat sedang melihat pelangi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.7. Jika tetesan air

hujan yang tinggi di langit sedang diamati, sinar merah yang paling pekat yang kembali dari tetesan itu dapat sampai ke pengamat karena dibelokkan paling banyak, tetapi sinar ungu yang paling pekat melewati pengamat karena dibelokkan paling sedikit. Oleh karena itu, pengamat melihat tetesan ini berwarna merah.



Gambar 7.7 : Terbentuknya pelangi terlihat oleh seorang pengamat yang berdiri dengan Matahari di belakang punggungnya.
(Sumber : Serway,2016)

Demikian pula, penurunan yang lebih rendah di langit akan mengarahkan cahaya ungu yang paling kuat ke arah pengamat dan tampak berwarna ungu. (Cahaya merah paling intens dari tetesan ini akan lewat di bawah mata pengamat dan tidak terlihat). Cahaya paling kuat dari warna spektrum lain akan mencapai pengamat dari tetesan hujan yang terletak di antara dua posisi ekstrem ini. Demikian pula pembiasan cahaya pada prisma yang di tunjukan oleh gambar 7.8. Gambar 7.8a menunjukkan datangnya cahaya secara normal pada salah satu sisi pendek prisma dengan sudut 45° - 45° - 90° .



Gambar 7.8 : (a) Cahaya yang masuk melalui salah satu sisi pendek prisma $45^\circ - 45^\circ - 90^\circ$ dipantulkan seluruhnya. (b) Cahaya yang masuk melalui sisi panjang prisma dipantulkan seluruhnya.
(Sumber : Tripler,2007)

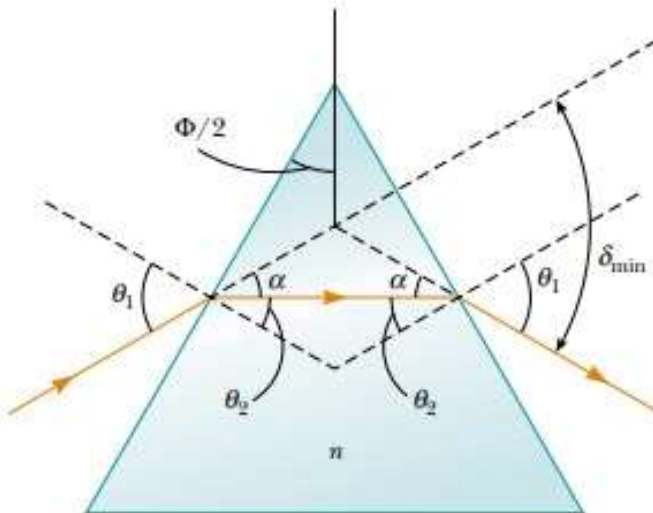
Jika indeks bias prisma adalah 1,5, maka sudut kritis untuk pemantulan internal total adalah $41,8^\circ$. Karena sudut datang sinar pada antarmuka kaca-udara adalah 45° , cahaya akan dipantulkan seluruhnya dan akan keluar tegak lurus ke sisi lain prisma, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.8b, cahaya datang tegak lurus sisi miring prisma dan dipantulkan total dua kali sehingga muncul 180° dari arah aslinya.

Prisma digunakan untuk mengubah arah sinar cahaya. Dalam teropong, dua prisma digunakan di setiap sisi. Prisma ini memantulkan cahaya, sehingga memperpendek panjang yang dibutuhkan, dan membalikkan gambar (pertama-tama dibalik oleh lensa). Berlian memiliki indeks bias yang sangat tinggi ($n = 2,4$),

sehingga hampir semua cahaya yang memasuki berlian akhirnya dipantulkan kembali, membuat berlian berkilau.

7.3 Indeks Bias Prisma

Sudut deviasi minimum δ_{min} untuk sebuah prisma terjadi ketika sudut datang θ_1 sedemikian rupa sehingga sinar bias di dalam prisma membentuk sudut yang sama dengan garis normal kedua sisi prisma, sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 7.9. maka indeks bias bahan prisma dapat ditentukan dengan cara berikut.



Gambar 7.8 : Sinar cahaya melewati prisma dengan sudut simpangan minimum δ_{min} .
(Sumber : Serway,2010)

Dengan menggunakan geometri pada gambar 7.8 maka,
 $\theta_2 = \Phi/2$

Dimana Φ adalah sudut puncak, maka;

$$\theta_1 = \theta_2 + \alpha = \frac{\Phi}{2} + \frac{\delta_{min}}{2} = \frac{\Phi + \delta_{min}}{2}$$

Dari hukum pembiasan Snell's, dengan $n_1 = 1$ karena medium udara adalah 1, sehingga;

$$\begin{aligned} \sin \theta_1 &= n \sin \theta_2 \\ \sin \frac{\Phi + \delta_{min}}{2} &= n \sin (\Phi/2) \\ n &= \frac{\sin \frac{\Phi + \delta_{min}}{2}}{\sin (\Phi/2)} \end{aligned}$$

Oleh karena itu, dengan mengetahui sudut puncak Φ prisma dan mengukur δ_{min} , kita dapat menghitung indeks bias bahan prisma.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadiningrum, K., Yuningsih, N., & Martono, W. 2016. Penentuan sudut deviasi minimum prisma melalui peristiwa pembiasan cahaya berbantuan komputer. *Sigma-Mu*, 8(1), 1-6.
- Hainen, N., Zike, D., Ezrailson, C. & Lillie, D. 2005. *Waves, Sound, and Light*. America: McGraw-Hill.
- Serway, R.A., & Jewett, J.W. 2018. *Physics for scientists and engineers*. Cengage learning.
- Tipler, P.A., & Mosca, G. 2007. *Physics for scientists and engineers*. W. H. Freeman and Company: Arifin Zainal.

BAB 8

DIFRAKSI

Oleh Nurlina

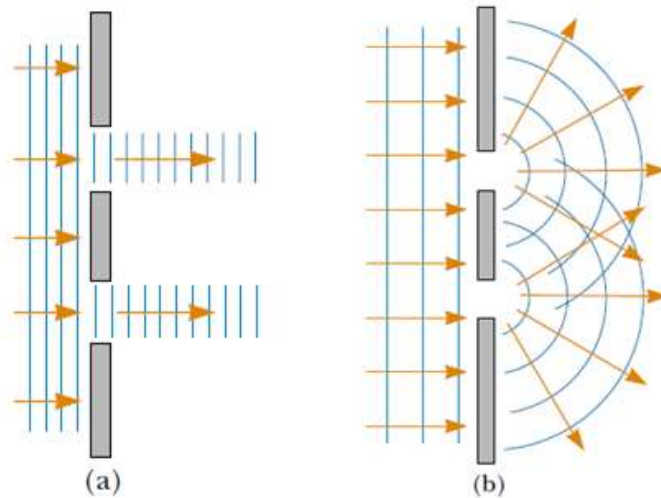
8.1 Tentang Difraksi

Ketika gelombang cahaya melewati celah kecil, pola interferensi diamati daripada titik cahaya yang tajam. Perilaku ini menunjukkan bahwa cahaya, setelah melewati bukaan, menyebar di jalur sempit yang ditentukan oleh bukaan ke daerah yang akan berada dalam bayangan jika cahaya bergerak dalam garis lurus. Gelombang lain, seperti gelombang suara dan gelombang air, juga memiliki sifat menyebar saat melewati lubang atau tepi tajam. Fenomena ini, yang dikenal sebagai difraksi, hanya dapat dijelaskan dengan model gelombang cahaya (Halliday, Resnick and Walker, 1989).

Difraksi sebenarnya juga adalah interferensi. Interferensi erat kaitannya dengan superposisi sumber gelombang yang jumlahnya berhingga, sedangkan difraksi berkaitan dengan superposisi sumber gelombang yang jumlahnya sangat banyak (mendekati tidak berhingga). Sehingga, difraksi merupakan interferensi dalam banyaknya sumber yang tidak berhingga (Abdullah, 2017).

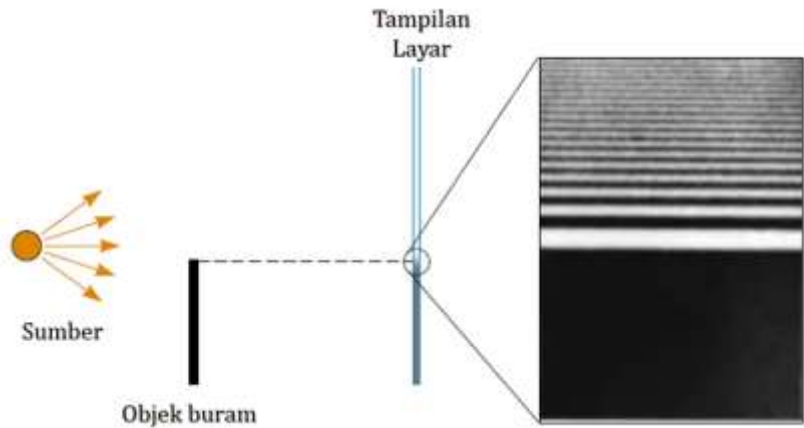
Pada materi interferensi, kita mempelajari bahwa pola interferensi diamati pada layar tampilan ketika dua celah disinari oleh sumber cahaya dengan panjang gelombang tunggal. Jika cahaya hanya merambat ke arah aslinya setelah melewati celah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.1a, gelombang tidak akan tumpang tindih dan tidak akan terlihat pola interferensi. Sebaliknya, prinsip Huygens mengharuskan gelombang menyebar dari celah seperti yang ditunjukkan Gambar 8.1b. Dengan kata lain,

cahaya menyimpang dari jalur garis lurus dan memasuki wilayah yang seharusnya dibayangi (Halliday, Resnick and Walker, 1989).



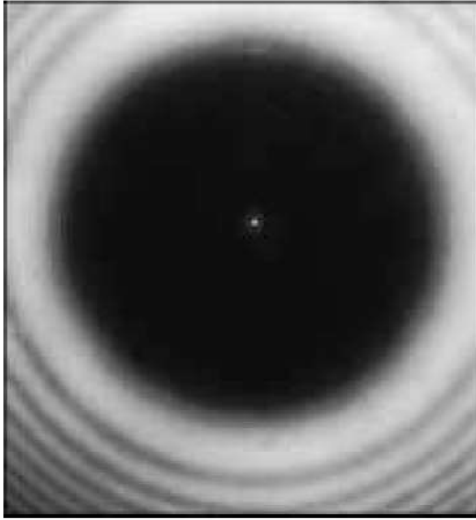
Gambar 8.1 : (a) Jika gelombang cahaya tidak menyebar setelah melewati celah, tidak akan terjadi interferensi. (b) Gelombang cahaya dari dua celah bertumpang tindih saat mereka menyebar, mengisi daerah yang kita perkirakan akan dibayangi dengan cahaya dan menghasilkan pinggiran interferensi (Halliday, Resnick and Walker, 1989)

Secara umum, difraksi terjadi ketika gelombang melewati bukaan kecil, di sekitar penghalang, atau melewati tepi tajam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.2. Ketika objek buram ditempatkan di antara titik sumber cahaya dan layar, tidak ada batas tajam yang ada di layar antara wilayah yang dibayangi dan wilayah yang diterangi. Wilayah yang diterangi di atas bayangan objek berisi pinggiran terang dan gelap yang berselang-seling. Tampilan seperti itu disebut pola difraksi (Halliday, Resnick and Walker, 1989).



Gambar 8.2 : Cahaya dari sumber kecil melewati tepi objek buram. Kita mungkin berharap tidak ada cahaya yang muncul di layar di bawah posisi tepi objek. Pada kenyataannya, cahaya membelok di sekitar tepi atas objek dan memasuki wilayah ini. Karena efek ini, pola difraksi yang terdiri dari pinggiran terang dan gelap muncul di wilayah di atas tepi objek.
(Halliday, Resnick and Walker, 1989)

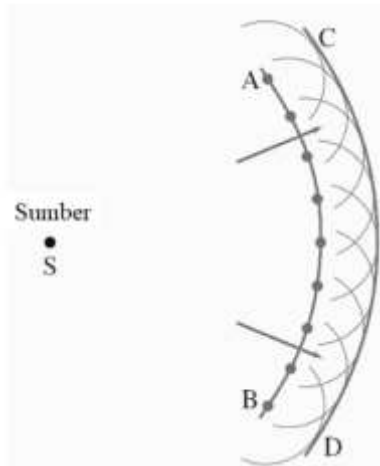
Gambar 2.3 menunjukkan pola difraksi yang diasosiasikan dengan bayangan koin. Titik terang muncul di tengah, dan pinggiran melingkar memanjang keluar dari tepi bayangan. Titik terang sentral hanya bisa dideskripsikan menggunakan teori gelombang cahaya, yang memprediksi interferensi konstruktif pada titik ini. Dari sudut pandang optik geometris (dimana cahaya dipandang sebagai sinar yang berjalan dalam garis lurus), kami mengharapkan pusat bayangan menjadi gelap karena bagian tampilan layar itu sepenuhnya dilindungi oleh uang logam (Halliday, Resnick and Walker, 1989).



Gambar 8.3 : Pola difraksi dibuat oleh iluminasi satu sen, dengan sen diposisikan di tengah antara layar dan sumber cahaya (Halliday, Resnick and Walker, 1989)

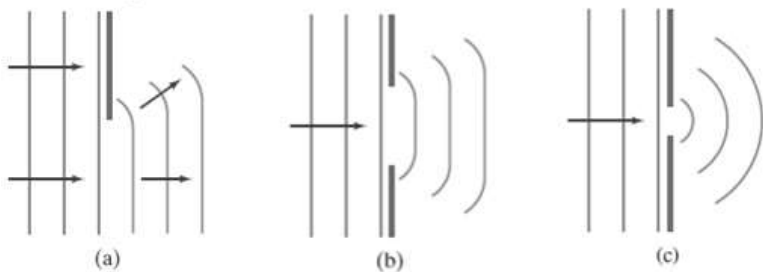
8.2 Prinsip Huygens dan Difraksi

Prinsip Huygens terutama berguna ketika gelombang menumbuk penghalang dan muka gelombang terganggu sebagian. Prinsip Huygens memprediksi bahwa gelombang melengkung di belakang rintangan, seperti pada Gambar 8.4. Gelombang air melakukan itu. Pembengkokan gelombang di belakang penghalang menjadi "daerah bayangan" disebut difraksi. Karena difraksi terjadi pada gelombang daripada partikel, maka dapat digunakan untuk membedakan sifat cahaya.



Gambar 8.4 : Jika AB diketahui, prinsip Huygens digunakan untuk menentukan muka gelombang CD
(Giancoli, 2009)

Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 8.5, bahwa difraksi paling terlihat jelas saat ukuran bukaan berada pada kisaran panjang gelombang. Jika ukuran bukaan jauh lebih besar dari besar panjang gelombang cahaya, difraksi tidak teramati (Giancoli, 2009).



Gambar 8.5 : Prinsip Huygens konsisten dengan difraksi melalui
(a) di sekitar sisi penghalang, (b) lubang besar, (c) lubang kecil
yang ukurannya dalam orde panjang gelombang.
(Giancoli, 2009)

Apakah cahaya menampakkan difraksi? Pada pertengahan abad ke tujuh belas, seorang pastor Jesuit, Francesco Grimaldi (1618–1663), telah melihat bahwa ketika sinar matahari memasuki ruang yang gelap melalui lubang kecil pada layar, tanda pada dinding di seberangnya lebih besar dari apa yang diharapkan untuk berkas-berkas cahaya geometris. Ia juga melihat bahwa batas bayangan tidak jelas tapi dikelilingi oleh pita berwarna. Grimaldi menghubungkan hal ini dengan difraksi cahaya (Giancoli, 2009).

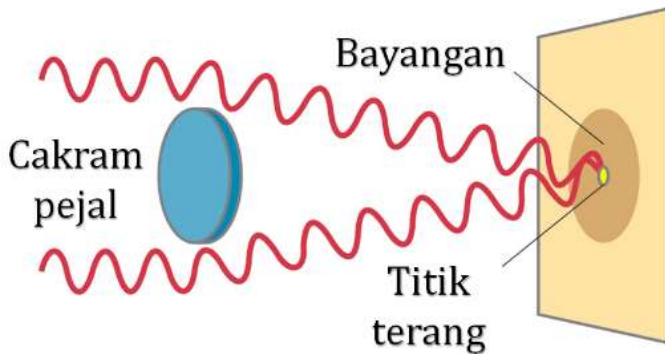
Model gelombang dari cahaya menjelaskan difraksi dengan sangat baik. Akan tetapi, model berkas tidak bisa menerangkan difraksi, dan sangat penting untuk menyadari keterbatasan model berkas. Optika geometri dengan menggunakan berkas sangat berhasil dalam banyak situasi karena bukaan dan penghalang normal jauh lebih besar daripada panjang gelombang cahaya, dan difraksi atau pembelokan yang terjadi relatif kecil (Giancoli, 2009).

8.3 Difraksi oleh Celah Tunggal atau Piringan

Eksperimen celah ganda Young menempatkan teori gelombang cahaya pada pijakan yang kokoh, tetapi studi mengenai difraksi lebih dari satu dekade kemudian membawanya ke penerimaan penuh.

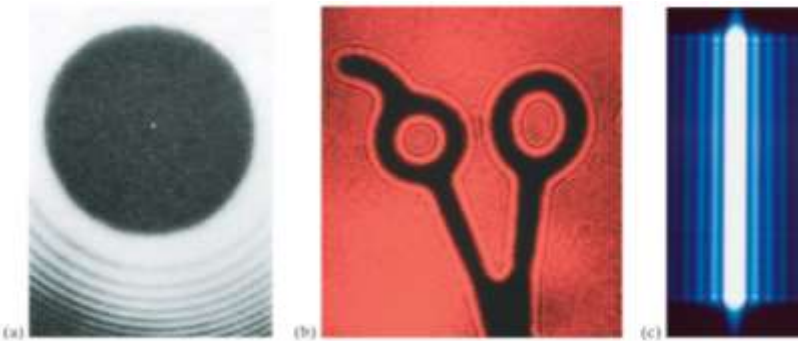
Pada tahun 1818, Augustin Fresnel (1788 – 1827) mengemukakan sebuah teori gelombang untuk cahaya yang memprediksikan dan menjelaskan efek-efek interferensi dan difraksi. Tidak begitu lama setelahnya, Simeon Poisson (1781 – 1840) menunjukkan kesimpulan yang kontra-intuitif. Menurut Fresnel, ketika cahaya sumber titik menumbuk piringan padat, cahaya yang terdifraksi di bagian tepi secara konstruktif mengganggu bagian tengah gambar (Gambar 8.6). Prediksi ini tampaknya tidak mungkin, tapi ketika percobaan benar-benar dilakukan oleh Francois Arago, bintik terang tersebut tampak tepat

di tengah bayangan. Ini merupakan bukti kuat dari teori gelombang ((Giancoli, 2009)



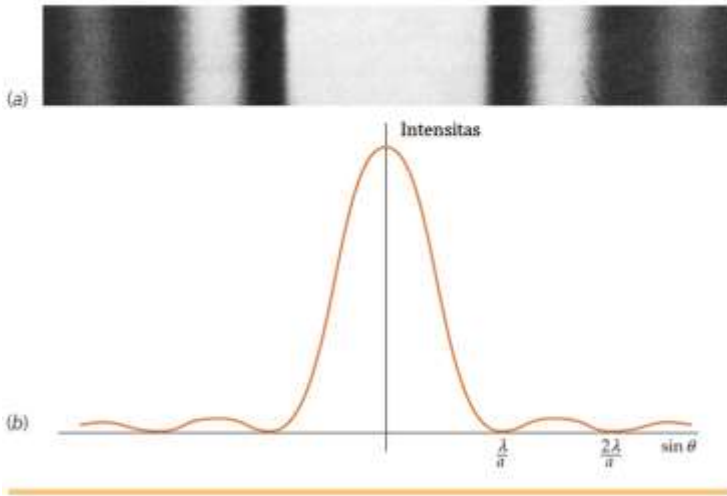
Gambar 8.6 : Jika cahaya merupakan gelombang, titik yang terang akan muncul di tengah bayangan piringan padat yang diterangi oleh sumber titik cahaya monokromatik (Giancoli, 2009)

Gambar 8.7a merupakan foto bayangan dari uang logam dengan menggunakan sumber titik yang koheren (dalam hal ini laser). Bintik terang jelas tampak di tengah. Perhatikan juga pola terang dan gelap di luar bayangan. Ini menyerupai garis pola interferensi celah ganda, dan memang pola gelap terang ini disebabkan oleh interferensi gelombang yang didifraksikan di sekitar bagian luar dari piringan, dan secara keseluruhan disebut sebagai pola difraksi. Pola difraksi berada di sekitar benda tajam yang diiluminasi oleh sumber titik, seperti pada Gambar 8.7b dan 8.7c. Kita tidak selalu menyadari keberadaan pola difraksi ini karena kebanyakan sumber cahaya dalam kehidupan sehari-hari bukan merupakan sumber titik, sehingga cahaya dari bagian yang berbeda pada sumber menghapus pola tersebut.



Gambar 8.7 : Pola difraksi dari (a) piringan (uang logam), (b) gunting, (c) suatu celah tunggal, masing-masing diterangi oleh sumber cahaya monokromatik (yang hampir berupa titik) (Giancoli, 2009)

Dalam diskusi kita tentang pola interferensi yang dihasilkan oleh dua celah atau lebih, kita berasumsi bahwa celah itu sangat sempit sehingga dapat menganggap celah itu sebagai sumber garis gelombang silindris, yang dalam diagram dua dimensi merupakan sumber titik gelombang melingkar. Oleh karena itu, kita dapat berasumsi bahwa nilai intensitas akibat satu celah saja yang bekerja adalah sama (I_0) di setiap titik pada layar P , terlepas dari sudut yang dibuat antara sinar ke titik dan garis normal antara celah dan layar. Ketika celah tidak menyempit, intensitas pada layar jauh tidak terlepas dari sudut tetapi berkurang dengan meningkatnya sudut. Anggap lebar celah a . Gambar 8.8 menunjukkan pola intensitas pada layar yang jauh dari lebar cahaya sebagai fungsi dari $\sin \theta$. Kita dapat lihat bahwa intensitas maksimum pada arah maju ($\sin \theta = 0$) dan berkurang menjadi nol pada sudut yang bergantung pada lebar celah a dan panjang gelombang λ (Tipler and Mosca, 2003).



Gambar 8.8 : (a) Pola difraksi celah tunggal seperti yang diamati pada layar jauh, (b) Plot intensitas versus $\sin \theta$ untuk pola pada Gambar 8.8a
(Tipler and Mosca, 2003)

Sebagian besar intensitas cahaya terkonsentrasi di pusat difraksi maksimum yang luas, meskipun ada pita maksimum sekunder minor di kedua sisi maksimum pusat. Nol pertama adalah intensitas yang terjadi pada sudut yang ditentukan oleh

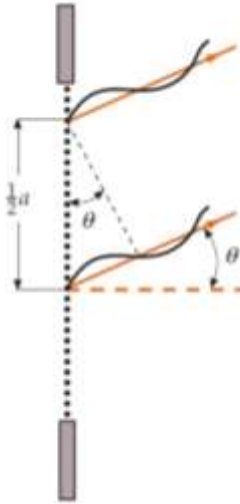
$$\sin \theta_1 = \lambda/a \quad 8.1$$

Panjang gelombang λ menunjukkan seberapa besar variasi sudut maksimum pusat. Jika kita menambah lebar celah a , sudut θ_1 di mana intensitas pertama menjadi nol, mempersempit puncak difraksi pusat. Sebaliknya, mengurangi lebar celah, meningkatkan sudut nol pertama, dan memperluas puncak difraksi pusat. Jika a kurang dari λ , maka $\sin \theta$ harus lebih besar dari 1 untuk memenuhi Persamaan 8.1. Oleh karena itu, kurang dari tidak ada titik intensitas nol dalam pola, dan celah bertindak sebagai sumber cahaya garis (sumber cahaya titik dalam dua dimensi) yang memancarkan energi cahaya yang sama ke segala arah.

Dengan mengalikan kedua sisi persamaan 8.1 dengan $a/2$, maka dihasilkan

$$\frac{1}{2}a \sin \theta_1 = \frac{1}{2}\lambda \quad 8.2$$

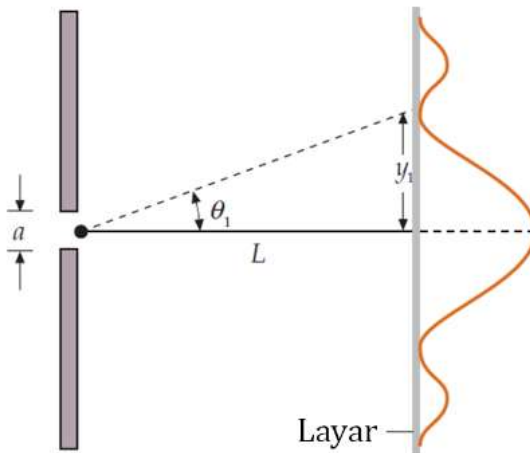
Nilai $\frac{1}{2}a \sin \theta_1$ adalah selisih panjang lintasan antara sinar yang keluar dari pusat celah atas dan sinar yang keluar dari pusat celah bawah. Dapat dilihat bahwa difraksi minimum pertama terjadi ketika kedua berkas tidak sefasa, yaitu ketika perbedaan panjang lintasannya sama dengan setengah panjang gelombang. Hasil ini dapat dipahami dengan menganggap setiap titik pada muka gelombang sebagai sumber titik menurut prinsip Huygens (Tipler and Mosca, 2003). Pada Gambar 2.9, kita telah menempatkan garis titik-titik pada muka gelombang pada celah untuk mewakili sumber titik ini secara skematis. Misalnya, kita memiliki 100 titik dan sudut θ_1 dengan $a \sin \theta_1 = \lambda$. Mari kita coba membagi celah menjadi dua bagian, dengan sumber 1 sampai 50 di bagian atas dan sumber 51 sampai 100 di bagian bawah. Ketika perbedaan panjang jalur antara bagian tengah bagian atas dan bagian tengah bagian bawah celah sama dengan setengah panjang gelombang, perbedaan panjang jalur antara sumber 1 (sumber pertama di bagian atas) dan sumber 51 (sumber pertama di bagian bawah) juga $\frac{1}{2}\lambda$. Gelombang dari kedua sumber tersebut akan keluar dari fase dan dengan demikian akan dibatalkan. Demikian pula, gelombang dari sumber kedua di setiap wilayah (sumber 2 dan sumber 52) akan dibatalkan.



Gambar 8.9 : Sebuah celah tunggal diwakili oleh sejumlah besar sumber titik dengan amplitudo yang sama. Pada minimum difraksi pertama celah tunggal, gelombang dari setiap sumber titik di bagian atas celah berada di luar fase dengan gelombang dari sumber titik yang jaraknya lebih rendah di celah. Dengan demikian, interferensi dari masing-masing pasangan sumber titik tersebut bersifar merusak

(Tipler and Mosca, 2003)

Melanjutkan argumen ini, kita dapat melihat bahwa gelombang dari setiap pasangan sumber yang dipisahkan oleh $a/2$ akan dibatalkan. Jadi, disana tidak akan ada energi cahaya pada sudut itu. Kita dapat memperluas argumen ini ke minimum kedua dan ketiga dalam pola difraksi Gambar 8.10.



Gambar 8.10 : Jarak y_1 diukur sepanjang layar dari pusat maksimum ke minimum difraksi pertama yang terhubung ke sudut θ_1 oleh $\tan \theta_1 = y_1/L$, dimana L adalah jarak ke layar (Tipler and Mosca, 2003)

Pada sudut θ_2 dimana $a \sin \theta_2 = 2\lambda$, kita dapat membagi celah menjadi empat bagian, dua bagian untuk bagian atas dan dua bagian untuk bagian bawah. Menggunakan argumen yang sama, intensitas cahaya dari bagian atas adalah nol karena pembatalan pasangan sumber; demikian pula, intensitas cahaya dari bagian bawah adalah nol. Rumus umum untuk titik intensitas nol untuk pola difraksi celah tunggal adalah:

$$a \sin \theta_m = m\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad 8.3$$

Biasanya, kita hanya tertarik pada kejadian pertama dari intensitas cahaya minimum karena hampir semua energi cahaya terkandung dalam pusat difraksi maksimum.

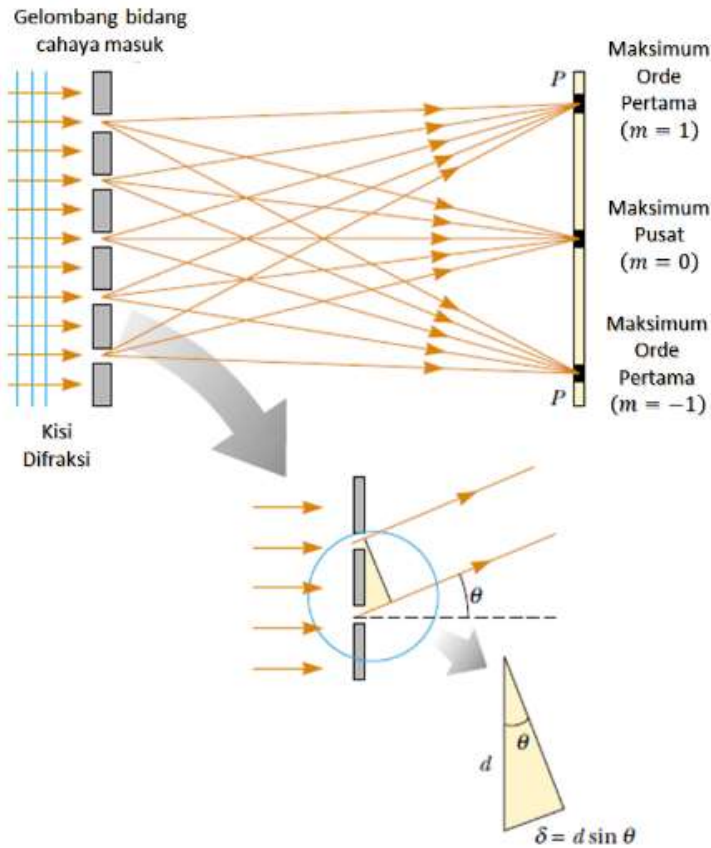
8.4 Kisi Difraksi

Perangkat yang berguna untuk menganalisis sumber cahaya, kisi difraksi terdiri dari sejumlah besar celah paralel dengan jarak yang sama. Kisi transmisi dapat dibuat dengan memotong alur paralel pada pelat kaca dengan mesin pengatur presisi. Ruang antara alur transparan terhadap cahaya dan karenanya bertindak sebagai celah terpisah. Kisi refleksi dapat dibuat dengan memotong alur paralel pada permukaan bahan reflektif. Pantulan cahaya dari ruang di antara alur bersifat specular, dan pantulan dari alur yang dipotong ke dalam material bersifat menyebar. Dengan demikian, ruang antara alur bertindak sebagai sumber cahaya yang dipantulkan secara paralel, seperti celah pada kisi transmisi. Teknologi saat ini dapat menghasilkan kisi-kisi yang memiliki jarak celah yang sangat kecil. Misalnya, kisi-kisi tipikal dengan alur $5000/cm$ memiliki jarak celah $d = (1/5000)cm = 2.00 \times 10^{-4}cm$.

Bagian kisi difraksi ditunjukkan pada Gambar 8.11. Gelombang bidang datang dari kiri tegak lurus bidang kisi. Pola yang diamati pada layar (paling kanan pada Gambar 8.11) adalah hasil dari efek gabungan interferensi dan difraksi. Setiap celah difraksi dan sinar difraksi saling mengganggu untuk menciptakan pola akhir (Serway and Jewett, 2004).

Gelombang dari semua celah berada dalam fase saat mereka meninggalkan celah. Namun, untuk setiap arah θ yang diukur dari horizontal, gelombang harus menempuh jarak yang berbeda untuk mencapai layar. Perhatikan Gambar 8.11, bahwa beda lintasan δ antara sinar dari dua celah yang berdekatan sama dengan $d \sin \theta$. Jika perbedaan jalur ini sama dengan satu panjang gelombang atau beberapa kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang, maka gelombang dari semua celah pada layar berada dalam fase dan pinggiran terang diamati. Oleh karena itu, syarat nilai maksimum pola interferensi pada sudut θ_{terang} adalah

$$d \sin \theta_{terang} = m\lambda \qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \qquad 8.4$$



Gambar 8.11 : Tampak samping kisi difraksi. Pemisahan celah adalah d , dan beda lintasan antara celah-celah yang berdekatan adalah $d \sin \theta$
(Serway and Jewett, 2004)

Kita dapat menggunakan ungkapan ini untuk menghitung panjang gelombang, jika kita mengetahui jarak kisi d dan sudutnya θ_{terang} . Jika radiasi insiden mengandung banyak panjang gelombang, maksima orde- m terjadi pada satu tertentu untuk

setiap panjang gelombang. Semua panjang gelombang tampak pada $\theta = 0$, berhubungan dengan $m = 0$, maksimum pusat. Maksimum orde pertama ($m = 1$) diamati pada sudut yang memenuhi hubungan $\sin \theta_{terang} = \lambda/d$, orde kedua ($m = 2$) diamati pada sudut yang lebih besar θ_{terang} , dan seterusnya (Serway and Jewett, 2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2017. *Fisika Dasar II*, Institut Teknologi Bandung. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Giancoli, D. C. 2009. *Physics: Principles With Applications*. Seventh. London: Prentice Hall International, Inc.
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. 1989. *Fundamentals of Physics*. 8th edn. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Serway, R. A. and Jewett, J. W. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. Thomson Brooks/Cole.
- Tipler, P. A. and Mosca, G. 2003. *Physics for Scientists and Engineers*. Sixth. New York: W. H. Freeman and Company.

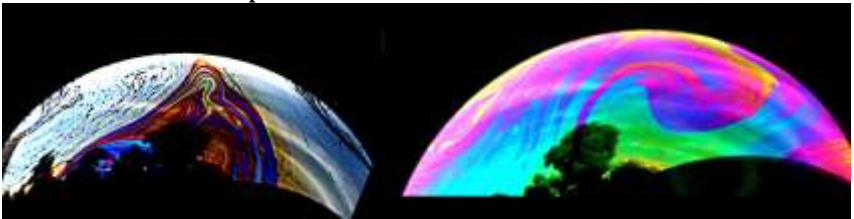
BAB 9

INTERFERENSI

Oleh Nursakinah Annisa Lutfin

9.1 Interferensi Cahaya

Fenomena gelembung sabun yang berwarna-warni ketika terpapar cahaya, warna yang terlihat pada cairan berminyak, atau cahaya yang terpantul dari DVD merupakan fenomena yang hanya dapat dijelaskan dengan sifat gelombang cahaya. Fenomena ini terjadi karena cahaya berinteraksi dengan sebuah objek dan menampilkan karakteristik gelombang dari cahaya. Cabang optik yang membahas tentang sifat ini disebut sebagai optik fisis. Salah satu materi dalam optik fisis adalah interferensi.



Gambar 9.1 : Gelembung Sabun Berwarna (Sumber: University Physics Volume 3)

Interferensi merupakan fenomena yang membedakan gelombang dengan partikel (Paul A. Tipler & Gene Mosca 2008). Sehingga, interferensi sering disebut sebagai indikasi utama penanda sebuah gelombang. Interferensi dapat diamati pada gelombang tali, gelombang air, gelombang bunyi, dan pada semua jenis gelombang. Fenomena interferensi ini juga dapat diamati pada cahaya yang memiliki sifat dualisme gelombang partikel. Interferensi cahaya merupakan proses perpaduan dua gelombang

cahaya sehingga menghasilkan sebuah gelombang baru (Kamajaya 2007).

Interferensi cahaya dengan pola yang teratur dapat diamati hanya ketika kedua gelombang cahaya yang berinterferensi tersebut bersifat koheren. Koheren yang dimaksud adalah kedua gelombang cahaya memiliki frekuensi yang sama dengan beda fase yang tetap.

9.2 Beda Fase dan Koherensi

Perpaduan dua gelombang harmonik sinusoidal yang memiliki frekuensi dan panjang gelombang sama tetapi berbeda fase akan menghasilkan gelombang harmonik dengan amplitudo sesuai dengan beda fasenya. Jika beda fase adalah 0° , 360° , dan kelipatannya, maka gelombang berada dalam fase dan berinterferensi secara konstruktif. Amplitudo gabungannya sama dengan jumlah dari 2 amplitudo dengan intensitas maksimum. Jika beda fase adalah 180° atau kelipatannya, gelombang keluar dari fase dan berinterferensi destruktif. Amplitudo gabungannya adalah selisih dari dua amplitudo dengan intensitas minimum.

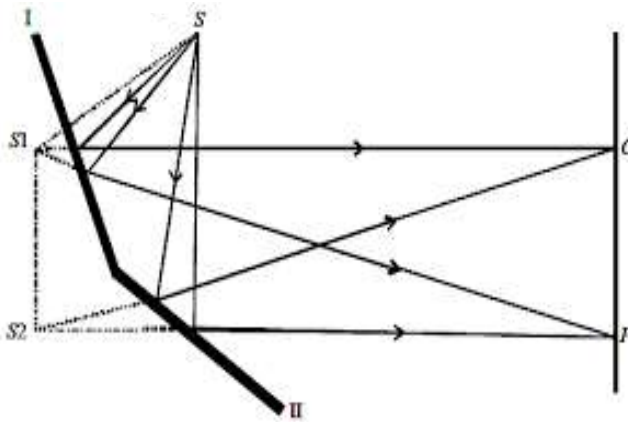
Beda fase antara dua gelombang seringkali merupakan hasil dari perbedaan panjang lintasan. Ketika gelombang cahaya terpantul dari film transparan tipis, seperti gelembung sabun, pantulan cahayanya merupakan gabungan dari cahaya pantul dari permukaan depan film dan cahaya pantul dari permukaan belakang film. Jarak tambahan yang dilalui cahaya pantulan permukaan belakang film ini yang disebut sebagai perbedaan panjang lintasan antara dua gelombang pantul. Perbedaan panjang lintasan dari satu panjang gelombang menghasilkan beda fase 360° , yang sama saja dengan nol dan berarti tidak ada beda fase sama sekali. Sedangkan, perbedaan panjang lintasan dari setengah panjang gelombang menghasilkan beda fase 180° . Secara umum hubungan antara perbedaan panjang lintasan Δr , panjang gelombang λ , dan beda fase δ adalah:

$$\delta = \frac{\Delta r}{\lambda} 2\pi = \frac{\Delta r}{\lambda} 360^\circ \quad 9-1$$

Pola interferensi gelombang hanya dapat diamati ketika dua gelombang yang berinterferensi memiliki beda fase yang tidak berubah terhadap waktu atau koheren. Sumber cahaya biasanya merupakan hasil radiasi dari jutaan atom, beda fase dari gelombang cahaya ini berfluktuasi secara acak setiap detiknya. Sehingga dua sumber cahaya berbeda biasanya tidak koheren. Koherensi dua gelombang cahaya dapat diperoleh dengan membagi berkas cahaya dari satu sumber ke dalam dua atau lebih berkas cahaya. Berkas cahaya dapat dibagi dengan memantulkan cahaya dari dua permukaan film tipis, mendifraksikan cahaya melalui 2 celah, atau dengan menggunakan sumber titik dan bayangannya pada cermin datar untuk dua sumber.

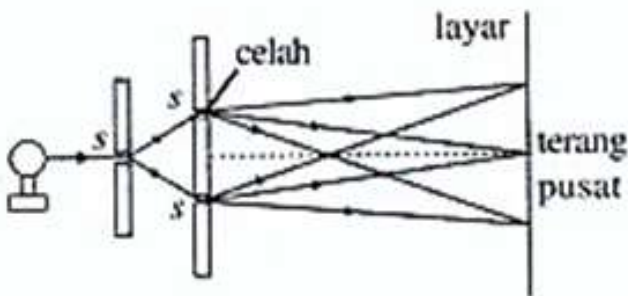
9.3 Interferensi Celah Ganda

A.J Fresnell (1770-1827) dan **Thomas Young** (1773-1829) menggunakan sebuah lampu sebagai sumber cahaya untuk menghasilkan dua sumber cahaya koheren. Fresnell memperoleh dua sumber cahaya S_1 dan S_2 yang koheren dari hasil pemantulan sebuah sumber cahaya S pada dua cermin yang tampak seperti Gambar 9.2. Terlihat pada gambar bahwa sumber cahaya S_1 dan S_2 merupakan bayangan yang dihasilkan dari cermin I dan II dari pantulan sumber cahaya S pada kedua cermin tersebut.



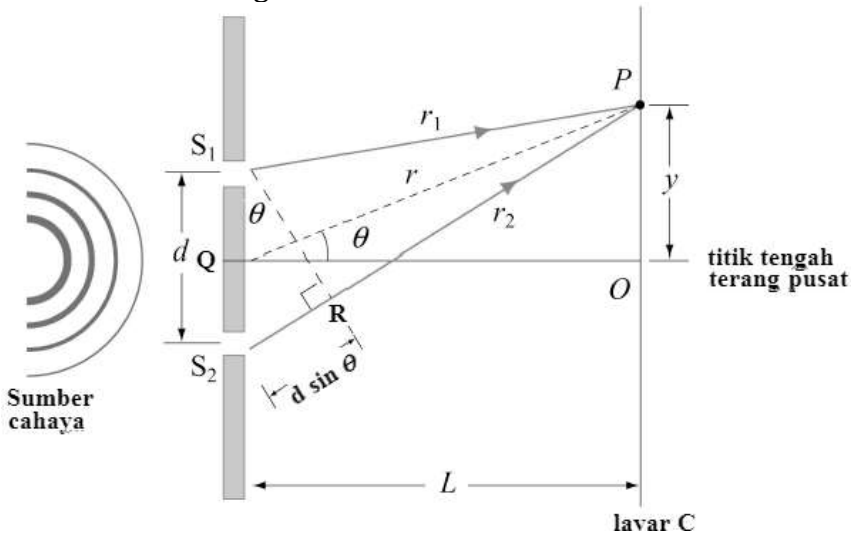
Gambar 9.2 : Percobaan A.J Fresnell (Sumber : Tsalatsin)

Jika Fresnell menggunakan pantulan cermin, maka Thomas Young menggunakan dua penghalang di depan satu sumber cahaya untuk menghasilkan dua sumber cahaya koheren (Moh. Nashir Tsalatsin & Masturi 2014). Penghalang pertama yang digunakan Young memiliki satu celah kecil, sedangkan penghalang kedua memiliki 2 celah kecil. Dengan menggunakan dua penghalang tersebut, Young dapat menghasilkan dua sumber cahaya koheren monokromatis. Model percobaan Young dapat dilihat pada Gambar 9.3 berikut ini.



Gambar 9.3 : Percobaan Thomas Young (Sumber : Tsalatsin)

Percobaan Fresnell and Young menghasilkan pola interferensi berbentuk garis terang dan garis gelap pada layar. Garis terang dan garis gelap ini menandakan hasil interferensi kedua sumber cahaya. Garis terang mendakan kedua sumber berinterferensi saling menguatkan atau interferensi maksimum, sedangkan garis gelap menandakan kedua sumber cahaya berinterferensi saling melemahkan atau interferensi minimum.



Gambar 9.4 : Model Geometri Percobaan Young (Sumber : <https://www.fisika-ok3.com/2016/09/interferensi-celah-ganda-double-slit.html>)

Terlihat pada Gambar 10.4 sebuah sumber cahaya melewati penghalan dengan celah ganda menjadi dua sumber cahaya monokromatis S_1 dan S_2 . Kedua sumber cahaya ini menuju titik P pada layar, dengan perbedaan panjang lintasan yang ditempuh adalah:

$$\Delta r = S_2P - S_1P \quad 9-2$$

Dimana Δr merupakan perbedaan panjang lintasan. Jika jarak S_2P dan S_1P sangat besar jika dibandingkan dengan d yang jarak S_1 dan S_2 , maka sinar S_2P dan S_1P dapat dianggap sejajar. Sehingga perbedaan panjang lintasannya menjadi :

$$\Delta r = S_2P - S_1P = S_2R = d \sin \theta \quad \mathbf{9-3}$$

Dengan d adalah jarak antara kedua celah.

Selanjutnya perhatikan segitiga QOP , dari segitiga ini kita memperoleh nilai :

$$\sin \theta = \frac{y}{QP} \quad \mathbf{9-4}$$

Jika nilai θ sangat kecil, maka akan diperoleh :

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{y}{L} \quad \mathbf{9-5}$$

Jika nilai θ sangat kecil, maka $\frac{y}{L}$ juga kecil atau $y \ll L$, sehingga perbedaan panjang lintasan yang ditempuh oleh cahaya dari sumber S_2 dan S_1 akan memenuhi persamaan berikut ini :

$$\Delta r = S_2R = d \sin \theta = d \tan \theta = \frac{dy}{L}$$

atau

$$\Delta r = \frac{dy}{L} \quad \mathbf{9-6}$$

Jika kedua gelombang cahaya tiba di titik P dengan fase yang sama, maka akan terjadi interferensi maksimum. Kedua gelombang cahaya ini akan memiliki fase yang sama jika perbedaan panjang lintasannya merupakan kelipatan bilangan cacah dari panjang gelombangnya.

$$\Delta r = m\lambda \quad \mathbf{9-7}$$

dengan $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ sehingga $\Delta r = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$ Persamaan interferensi maksimum menjadi :

$$\frac{dy}{L} = m\lambda \quad \mathbf{9-8}$$

Keterangan :

d = jarak antarcelah

y = jarak titik pusat interferensi (O) ke garis terang di P

L = jarak celah ke layar

λ = panjang gelombang cahaya

$m = \text{orde interferensi } (0, 1, 2, 3, \dots)$

Interferensi maksimum (garis terang) selalu terjadi di titik O. Oleh karena itu, titik O disebut sebagai terang pusat atau terang orde nol. Agar interferensi maksimum dapat terjadi, berkas cahaya yang datang harus sejajar dan tegak lurus terhadap bidang celah, sehingga sumber cahaya S_1 dan S_2 memiliki fase yang sama.

Apabila kedua gelombang cahaya yang datang dari sumber cahaya S_1 dan S_2 memiliki fase yang berlawanan atau berbeda 180° , maka akan terjadi interferensi minimum pada layar. Interferensi minimum ini ditandai dengan terbentuknya garis-garis gelap pada layar. Agar kedua gelombang cahaya berbeda fase 180° , perbedaan panjang lintasan keduanya harus merupakan kelipatan bilangan ganjil dari setengah panjang gelombang.

$$\Delta r = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda, \dots$$

atau

$$\Delta r = (2m - 1) \frac{1}{2} \lambda \quad \mathbf{9-9}$$

dengan $m = 1, 2, 3, 4, \dots$

Persamaan interferensi minimum dapat diperoleh dengan mensubstitusi **persamaan 10-9** ke **persamaan 9-6** sebagai berikut :

$$\frac{dy}{L} = (2m - 1) \frac{1}{2} \lambda$$

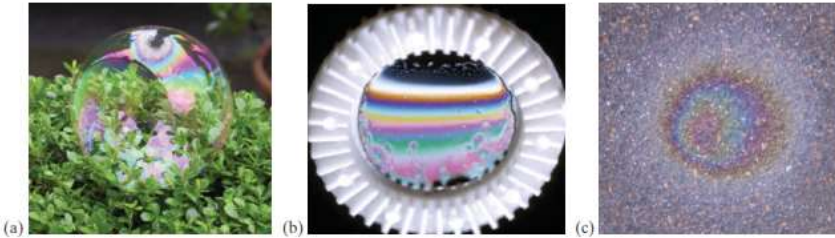
atau

$$\frac{dy}{L} = \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \mathbf{9-10}$$

9.4 Interferensi Pada Lapisan Tipis

Interferensi cahaya banyak terjadi pada fenomena dalam kehidupan sehari-hari. Contohnya warna yang terpantul pada gelembung sabun dan lapisan minyak. Pada kasus ini, warna tersebut dihasilkan dari interferensi antara dua gelombang cahaya yang terpantul dari dua permukaan lapisan tipis. Interferensi ini hanya dapat diamati jika ketebalan lapisan berada pada orde

panjang gelombang cahaya. Interferensi tidak dapat diamati jika ketebalan lapisan tersebut jauh lebih besar dibandingkan panjang gelombang cahaya (Douglas C. Giancoli 2014).



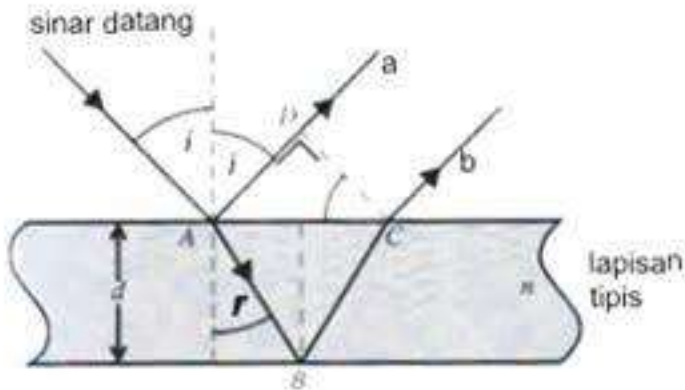
Gambar 9.5 : Pola Interferensi Pada Lapisan Tipis (a)Gelembung Sabun, (b) Air Sabun, (c) Minyak (Sumber : Physics for Scientists and Engineers Sixth Edition)

Gambar 9.6 menunjukkan interferensi antara dua gelombang yang terpantul dari permukaan atas dan permukaan bawah pada lapisan tipis. Perbedaan panjang lintasan yang dilalui oleh sinar datang hingga menjadi sinar pantul **a** dan **b** (S_1 dan S_2) adalah sebagai berikut :

$$\Delta r = S_2 - S_1 = n(AB + BC) - AD = 2(2AB) - AD \quad \text{9-11}$$

Dengan n adalah indeks bias lapisan tipis. Apabila ketebalan lapisan tipis adalah d , maka hubungan antara d dengan panjang AB menjadi $d = AB \cos r$ atau $AB = \frac{d}{\cos r}$. Panjang $AD = AC \sin i$, dengan $AC = 2d \tan r$. Substitusi nilai-nilai ini pada **persamaan 9-11** akan menghasilkan nilai perbedaan panjang lintasan Δr sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta r &= 2n \left(\frac{d}{\cos r} \right) - (2d \tan r) \sin i \\ \Delta r &= \frac{2nd}{\cos r} - \frac{2d \sin r \sin i}{\cos r} \end{aligned} \quad \text{9-12}$$



Gambar 9.5 : Interferensi Pada Lapisan Tipis (Sumber: Cerdas Belajar Fisika)

Dengan menerapkan Hukum Snellius, $n \sin r = \sin i$, maka perbedaan panjang lintasan Δr menjadi :

$$\Delta r = \frac{2nd}{\cos r} - \frac{2nd \sin^2 r}{\cos r} = \frac{2nd}{\cos r} (1 - \sin^2 r)$$

$$\Delta r = \frac{2nd}{\cos r} (\cos^2 r)$$

$$\Delta r = 2nd \cos r \quad \mathbf{9-13}$$

Interferensi maksimum akan terjadi jika Δr merupakan kelipatan dari panjang gelombang λ . Perubahan fase $\frac{1}{2}$ yang terjadi pada sinar pantul di B membuat Δr menjadi :

$$\Delta r = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda = (2m + 1) \frac{1}{2} \lambda \quad \mathbf{9-14}$$

Dengan mensubstitusi **persamaan 10-13** pada **persamaan 9-14** diperoleh persamaan untuk interferensi maksimum sinar pantul pada lapisan tipis sebagai berikut :

$$2nd \cos r = (2m + 1) \frac{1}{2} \lambda$$

$$2nd \cos r = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \mathbf{9-15}$$

Keterangan:

n = indeks bias lapisan tipis

d = tebal lapisan

r = sudut bias

λ = panjang gelombang cahaya

m = orde interferensi (0, 1, 2, 3, ...)

Interferensi minimum terjadi apabila perbedaan panjang lintasan Δr kedua sinar pantul merupakan kelipatan $\frac{1}{2}\lambda$ dengan beda fase $\frac{1}{2}$ sehingga diperoleh :

$$\Delta r = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, \dots = m\lambda$$

Sehingga interferensi minimum pada arah pantul akan memenuhi persamaan :

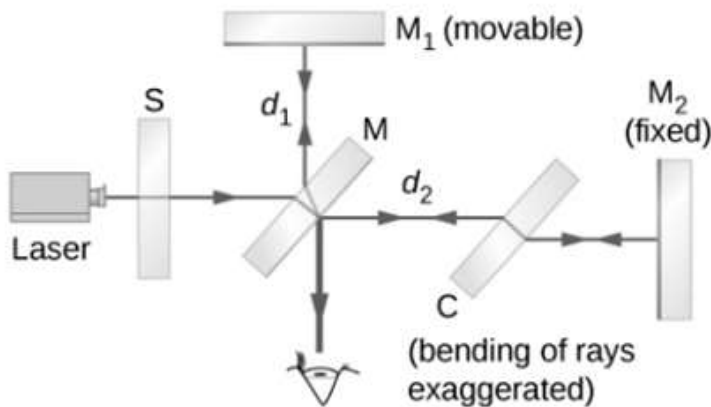
$$\Delta r = 2nd \cos r \text{ dan } \Delta r = m\lambda$$

atau

$$2nd \cos r = m\lambda \quad \quad \quad \mathbf{9-16}$$

9.5 Interferometer Michelson

Fisikawan Amerika Albert A. Michelson (1852-1931) menciptakan sebuah instrumen yang dapat menghasilkan pola interferensi dengan membagi satu sumber cahaya menjadi dua berkas cahaya, yang kemudian dikombinasikan setelah melalui lintasan optik yang berbeda. Instrumen ini diberi nama Interferometer Michelson (Samuel J. Ling, Jeff Sanny & William Moebs 2021).



Gambar 9.6 : Interferometer Michelson (Sumber: University Physics Volume 3)

Gambar 9.6 menunjukkan interferometer dengan arah lintasan berkas cahaya yang berasal dari satu titik sumber cahaya. Berkas cahaya ini kemudian menuju ke *beam splitter* M (David Halliday & Robert Resnick 2011). *Beam splitter* adalah cermin yang meneruskan setengah berkas cahaya dan memantulkan setengah lainnya. Berkas cahaya yang dipantulkan akan bergerak ke cermin bergerak M_1 , dan akan dipantulkan kembali melalui M ke pengamat. Sedangkan setengah berkas cahaya yang diteruskan, akan dipantulkan kembali oleh cermin M_2 ke M , dan dipantulkan oleh M ke pengamat. Kedua berkas cahaya ini berasal dari satu sumber cahaya, sehingga keduanya koheren dan dapat berinterferensi. Hal ini menyebabkan berkas cahaya melalui M tiga kali, sedangkan cermin lainnya hanya dilalui satu kali. Kompensator C yang terbuat dari kaca transparan dengan bahan yang sama dengan M diletakkan di antara M dan M_2 untuk memastikan bahwa kedua berkas cahaya melalui kaca dengan

ketebalan yang sama. Adanya kompensator ini memastikan bahwa semua perbedaan fase antara kedua berkas cahaya terjadi hanya karena adanya perbedaan panjang lintasan yang dilalui.

Perbedaan panjang lintasan antara kedua berkas cahaya ketika digabungkan adalah $2d_1 - 2d_2$, dimana d_1 adalah jarak antara M dan M_1 , sedangkan d_2 adalah jarak antara M dan M_2 . Perbedaan panjang lintasan ini merupakan kelipatan dari panjang gelombang $m\lambda_0$. Ketika interferensi konstruktif terjadi dan gambar terang dari titik sumber terlihat oleh pengamat. Cahaya dari setiap titik pada sumber yang memiliki dua berkas cahaya dengan perbedaan panjang lintasan sama juga akan berinterferensi konstruktif atau saling menguatkan sehingga menghasilkan gambar terang. Gabungan semua gambar ini akan menghasilkan garis terang yang mewakili perubahan perbedaan panjang lintasan oleh $m\lambda_0$. Ketika M_1 dipindahkan sejauh $\Delta d = \frac{\lambda_0}{2}$, perbedaan panjang lintasannya menjadi λ_0 , dan setiap garis bergerak ke posisi yang sebelumnya ditempati oleh garis gabungannya. Dengan menghitung jumlah garis m yang terbentuk ketika M_1 dipindahkan, pengamat dapat menghitung perubahan perbedaan panjang lintasan yang dibutuhkan untuk setiap panjang gelombang dengan persamaan berikut ini.

$$\Delta d = m \frac{\lambda_0}{2}. \quad \text{9-17}$$

DAFTAR PUSTAKA

- David Halliday & Roberst Resnick, 2011, *Fundamentals Of Physics*, 9th edn., John Wiley & Sons, Inc., Clevelend State University.
- Douglas C. Giancoli, 2014, *Physics Principle With Application*, 7th edn., vol. I, Jim Smith, California.
- Kamajaya, 2007, *Cerdas Belajar Fisika*, 2nd edn., Grafindo Media Pratama, Jakarta.
- Moh. Nashir Tsalatsin & Masturi, 2014, 'Penentuan Panjang Gelombang Sinar Menggunakan Interferensi Celah Ganda Sederhan', *Jurnal Fisika*, 4(2), 69–73.
- Paul A. Tipler & Gene Mosca, 2008, *Physics For Scientists and Engineers*, 6th edn., Susan Finnemore Brennan, New York.
- Samuel J. Ling, Jeff Sanny & William Moebs, 2021, *University Physics*, vol. 3rd, Rice University, Houston.

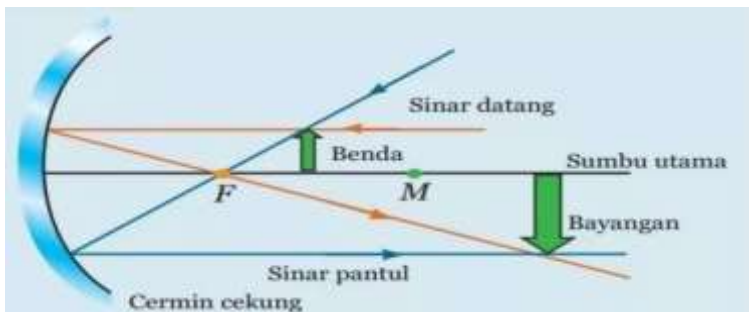
BAB 10

ABERASI

Oleh Fathan Mubina Dewadi

10.1 Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari tentunya banyak sekali contoh alat optik yang berguna bagi kehidupan kita. Misalnya cermin. Kita tahu bahwa cermin memiliki banyak keuntungan yang iberbeda, misalnya pengemudi mobil atau sepeda motor memastikan sebagian dari keselamatan mereka dengan apa yang mereka lihat di kaca spion, astronom menggunakan teropong reflektif untuk mengamati benda langit, mikroskop yang digunakan para ilmuwan untuk mempelajari organisme berukuran mikro. dan seterusnya tergantung kegunaannya (Arzaq, 2016). Berikut akan dijelaskan mengenai arah cahaya memantulkan cermin.



Gambar 10.1 : Arah Cahaya Memantulkan Cermin (Ariefana, 2021)

Pada pembahasan ini, kita membahas aberasi lensa dan cermin serta resolusi berbagai perangkat optik dan sinar-X

serta penerapannya dalam kehidupan manusia. Penyimpangan dapat terdiri dari beberapa jenis, termasuk penyimpangan bola (koma, distorsi, astigmatisme), penyimpangan kromatik, penyimpangan monokromatik (penyimpangan di luar fokus, penyimpangan kelengkungan bidang). Teori aberasi dapat digunakan untuk menguji kesempurnaan sebuah lensa berdasarkan karakteristik aberasinya (Dewadi, *et al.*, 2021).

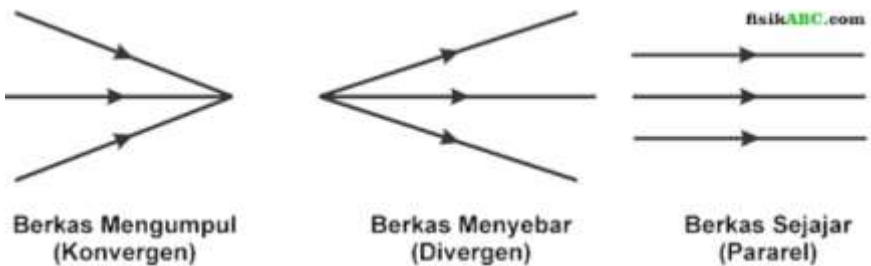
Tingkat kesempurnaan lensa tidak bergantung pada besar kecilnya panjang fokus, tetapi bergantung pada derajat ikelengkungan permukaan lensa, karena semakin kecil kelengkungan permukaan lensa yang digunakan, maka karakteristik *spherical aberration* lensa semakin kecil untuk menghancurkan Aberasi disebut juga deviasi atau cacat lensa (Nanda, *et al.*, 2022).

Aberasi adalah distorsi gambar yang disebabkan oleh lensa atau cermin. Adanya kesalahan pada sistem optik, sehingga gambar yang ditampilkan tidak sama dengan objeknya. Terkadang gambar yang tidak diinginkan muncul di lensa atau cermin. Misalnya, munculnya jumbai berwarna di sekitar bayangan. Hal ini terjadi ketika semua sinar dari objek titik tidak fokus pada satu piksel, sehingga hanya ada satu gambar, atau adanya gambar yang kabur disebut aberasi (Nanda, *et al.*, 2022).

Penyimpangan optik adalah degradasi kinerja sistem optik dibandingkan dengan optik paraksial geometris standar. Atenuasi yang dihasilkan dapat disebabkan oleh sifat optik cahaya dan sifat optik sistem lensa sebagai media terakhir yang dilalui cahaya sebelum mencapai mata pengamat (Dewadi, *et al.*, 2021).

Penyimpangan kromatik adalah pembiasan cahaya dengan panjang gelombang berbeda pada fokus berbeda. Cahaya dibagi menjadi beberapa panjang gelombang (atau warna), yang jalurnya bergantung pada panjang gelombang

tersebut. Aberasi kromatik dapat dikurangi dengan menggunakan lensa tambahan, seperti lensa akromatik yang diletakkan di depan lensa atau lensa kombinasi aplanatik yang terdiri dari dua jenis lensa kaca yang berbeda (Murtalim, 2020). Berikut akan dijelaskan mengenai jenis-jenis berkas cahaya pada gambar 10.2.



Gambar 10.2 : Jenis-Jenis Berkas Cahaya (fisikabc, 2017)

Spherical aberration adalah gejala kesalahan pembentukan bayangan yang disebabkan oleh efek kelengkungan lensa atau cermin. Penyimpangan seperti itu menghasilkan bayangan yang tidak mematuhi hukum pemantulan atau pembiasan (A, *et al.*, 2022).

Pencitraan dengan lensa tipis sampai saat ini masih berupa pencitraan dengan sinar paraksial, atau sinar yang berada dekat dengan sumbu utama lensa, sehingga bayangan yang terbentuk tampak sangat jernih dan tajam. Kenyataannya, bayangan yang dibentuk oleh lensa tidak selalu tajam, bahkan bisa terlihat buram (Nanda, *et al.*, 2022).

Kesalahan arsiran tersebut disebabkan oleh sinar yang jauh dari sumbu utama tidak dibiaskan seperti yang diharapkan. Lensa membiaskan sinar paralel jauh dari sumbu utama, yang tidak tepat pada fokus utama, tetapi cenderung mendekati pusat optik. Semakin jauh sinar paralel dari

sumbu utama, semakin dekat ke pusat optik lensa. Cacat ini disebut aberasi bola (Sitorus, *et al.*, 2022).

10.2 Tentang Aberasi

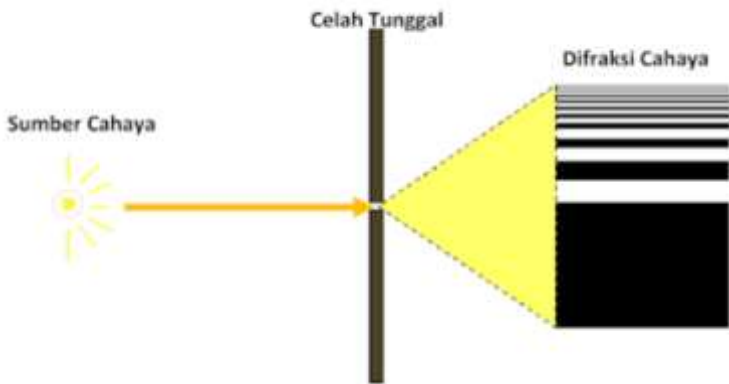
Aberasi ini dapat dihilangkan dengan menggunakan film yang ditempatkan di depan lensa objektif atau dengan menggunakan lensa majemuk applanated yang terdiri dari dua jenis lensa kaca yang berbeda. Penyimpangan tambahan terjadi untuk objek yang terletak di luar sumbu. Sinar yang melewati berbagai bagian lensa menyebabkan dispersi gambar yang tidak melingkar (Dewadi, *et al.*, 2021).

Kami tidak akan merinci, tetapi hanya menekankan bahwa efeknya ada dua. Koma (karena bayangannya berbentuk komet dan tidak bulat) dan astigmatisme di luar sumbu terpisah dari titik bayangan di luar sumbu, tetapi pada jarak yang sama dari lensa, tidak jauh dari bidang, tetapi pada permukaan cembung, yaitu. bidang fokus tidak rata (Dewadi, *et al.*, 2021).

Semakin dekat kedua bayangan dan masih terlihat terpisah (bukan bola uap di atas satu sama lain), semakin besar resolusinya. Misalnya, resolusi lensa kamera sering dinyatakan dalam garis per mililiter. Dan ini bisa ditentukan dengan memotret rangkaian garis paralel beraturan pada film datar (Farahdiansari, *et al.*, 2021).

Jarak minimum antar garis yang masih dapat dilihat melalui lensa menunjukkan resolusi. Dua faktor terpenting dan fundamental pertama yang membatasi resolusi lensa adalah aberasi lensa. Seperti yang telah kita lihat, karena penyimpangan bola dan lainnya, objek titik bukanlah piksel, melainkan lingkaran kecil. Desain lensa majemuk yang hati-hati dapat mengurangi aberasi secara signifikan, tetapi tidak dapat sepenuhnya menghilangkannya (Wibowo & Dewadi, 2022).

Faktor lain di balik resolusi adalah difraksi, yang tidak dapat dikoreksi karena merupakan konsekuensi alami dari sifat gelombang cahaya. Dengan difraksi, mikroskop atau teleskop tidak dapat dirancang untuk menghasilkan perbesaran yang diinginkan tergantung pada pilihan panjang fokus dan kualitas objektif. Meningkatkan perbesaran melebihi batas tertentu hanya meningkatkan pola difraksi (Wibowo, *et al*, 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai difraksi pada gambar 10.3.



Gambar 10.3 : Difraksi Cahaya (saintif, 2020)

10.3 Persamaan terkait Aberasi

Ini sangat menyulitkan mengenai formula aberasi karena kita dapat berpikir bahwa kita melihat detail suatu objek ketika kita melihat lebih dekat pada detail pola difraksi, persamaan Rayleigh (Abbas, *et al*, 2020):

$$\theta = 1,22\lambda/D$$

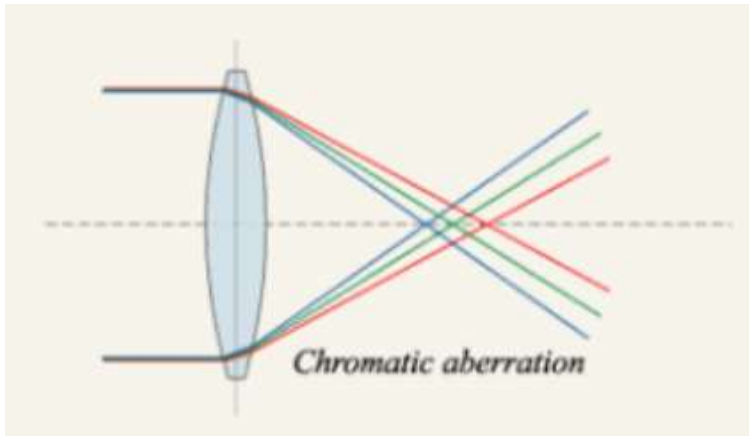
Persamaan ini berlaku untuk mikroskop dan teleskop, di mana D adalah diameter sasaran. Difraksi menempatkan

batas ekstrem pada detail yang terlihat dari objek apa pun. tidak mungkin untuk menginterpretasikan detail objek yang lebih kecil dari panjang gelombang radiasi yang digunakan (Wibowo, *et al.*, 2021).

Ini adalah aturan yang berguna. Resolusi mata manusia dibatasi oleh beberapa faktor, semuanya dalam urutan yang sama. Resolusi yang baik ditemukan pada fovea, dimana jarak kerucut terkecil kira-kira 3000 nm. Diameter pupil bervariasi dari sekitar 0,1 cm hingga 0,8 cm. Jadi pada panjang gelombang = 550 nm, dimana kepekaan mata paling tinggi (Surbakti, *et al.*, 2022).

Batas difraksi kira-kira $\theta = 1,22\lambda/D = 8 \times 10^{-5}$ radian hingga 6×10^{-4} radian. Karena panjang mata sekitar 2 cm, ini sesuai dengan resolusi $s = (8 \times 10^{-5} \text{ rad}) (2 \times 10^{-2} \text{ m}) = 2000 \text{ nm}$, aberasi sferis dan kromatik juga membatasi resolusi hingga sekitar 10.000 nm. Hasil umumnya adalah bahwa mata paling baik dapat menyimpang dengan jarak sudut sekitar $5 \times 10^{-4} \text{ rad}$ terbaiknya (Dewadi, *et al.*, 2019).

Ini sesuai dengan objek yang terpisah 1 cm pada jarak sekitar 20 m. Semua resolusi yang dicapai oleh mikroskop tidak berguna jika objek yang diamati tidak dapat dibedakan dari latar belakangnya. Perbedaan antara objek dan bayangan sekitarnya disebut kontras. Mencapai kontras tinggi adalah masalah utama dalam mikroskop dan bentuk pencitraan lainnya. Mikroskop interfase memanfaatkan langsung sifat gelombang cahaya (Raja Ma'arof, *et al.*, 2021). Berikut akan dijelaskan mengenai proses aberasi pada gambar 10.4.



Gambar 10.4 : Aberasi Kromatik (Wikimedia project, 2023)

Penyimpangan kromatik dalam optik adalah efek yang disebabkan oleh hamburan cahaya, ketika lensa tidak dapat mengarahkan semua gelombang warna ke fokus yang sama, karena lensa memiliki indeks bias yang berbeda untuk panjang gelombang cahaya yang berbeda. Indeks bias bahan transparan menurun dengan meningkatnya panjang gelombang (Nanda, *et al.*, 2022).

10.4 Soal-Soal Latihan

Apa yang dimaksud dengan Aberasi menurut pemahaman kalian masing-masing serta bagaimana aplikasi di dunia nyata (Della, *et al.*, 2022)?

1. Tuliskan formula mengenai aberasi dan jelaskan kembali tafsir dari formula yang telah ada (Dewadi, 2016)!
2. Buatlah *essay* terkait aberasi dan boleh mencakup hal lainnya diluar cermin (Dewadi, 2021)!
3. Bagaimana bentuk gelombang cahaya saat terjadi aberasi kromatik (Dewadi, 2022)?

4. Apakah yang dapat diaplikasikan dari teori mengenai aberasi? Jelaskan contoh kecil yang cukup logis dalam menjawab studi kasus ini (Mulyadi & Dewadi, 2021)

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M. & Rahdiana, N., 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), pp. 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B. & Dewadi, F. M., 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik*, IV(1), pp. 20-27.
- A., 2020. *muhammad-amin*. [Online] Available at: <https://muhammad-amin.com/mengenal-teknologi-material-komposit/> [Accessed 03 Februari 2023].
- Abbas, A. et al., 2020. *Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques*. Medan, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- A, F. M. et al., 2022. Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore (JTMMX)*, III(1), pp. 1-8.
- A. et al., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *JTMMX*, II(1), pp. 6-12.
- Alat Uji, 2023. *alat uji*. [Online] Available at: <https://alatuji.com/article/detail/949/mengetahui-jenis-dan-sifat-logam-pada-industri> [Accessed 03 Februari 2023].
- Ariefana, P., 2021. *suara jogja*. [Online] Available at: <https://jogja.suara.com/read/2021/11/29/151812/sifat-cermin-cekung-pengertian-hingga-rumus> [Accessed 10 Februari 2023].

- Arzaq, R. M., 2016. *Aberasi dan Resolusi*, Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Della, R. H. et al., 2022. *Kesehatan & Keselamatan Kerja Era Society 5.0*. 1st ed. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Dewadi, F. M., 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*, Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M., 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), pp. 13-23.
- Dewadi, F. M., 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*. Bandung: Indie Press, pp. 1-8.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D. & Maulana, E., 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS*, Volume XIV, pp. 129-138.
- Dimiyati, D. et al., 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR)*, I(1), pp. 96-107.
- fisikabc, 2017. *fisikabc.com*. [Online] Available at: <https://www.fisikabc.com/2017/09/pengertian-jenis-sifat-manfaat-dan-contoh-cahaya.html> [Accessed 10 Februari 2023].
- Hastomo, R., 2010. *Blog Teknik Mesin*. [Online] Available at: <https://technomesin.wordpress.com/2010/04/02/bahan-teknik-1/> [Accessed 03 Februari 2023].
- K., Nanda, R. A., A. & Dewadi, F. M., 2022. Pelatihan Pemanfaatan Aquaponik Bagi Warga Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan.

- Journal of Entrepreneurship and Community Innovations*, I(1), pp. 16-21.
- K., Nanda, R. A. & Dewadi, F. M., 2022. Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH-1750 Berbasis Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang. *Praxis*, V(1), pp. 74-81.
- K. et al., 2022. Archimedes' Principle Applied to Buoy Design for Measuring Purposes in Offshore Illumination Conditions. *JTMMX*, III(1), pp. 40-48.
- K. et al., 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), pp. 96-103.
- M., Dewadi, F. M., A. & Sigalingging, W. S., 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), pp. 101-118.
- M., 2020. *Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar*. Malang, Universitas Widyagama Malang.
- Mulyadi, D. & Dewadi, F. M., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, II(1), pp. 6-12.
- Nanda, R. A. et al., 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), pp. 43-55.
- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. . A., Dewadi, F. M. & Noor, A., 2021. *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*, Kuala Lumpur: Universiti Kuala Lumpur.

- saintif, 2020. *saintif.com*. [Online] Available at: <https://saintif.com/difraksi-cahaya/> [Accessed 10 Februari 2023].
- S. et al., 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), pp. 19-27.
- Sitorus , E. et al., 2022. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Sociey 5.0*. Indonesia, Patent No. 000338122.
- Surbakti, D., Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Perbaikan Gerobak Sampah sebagai Bagian dari Manajemen Sampah Sisi Hulu di Lingkungan Permata Penggilingan Jakarta. *Indonesian Journal of Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, II(2), pp. 165-174.
- Teknik Pemesinan, 2023. *Teknik Pemesinan*. [Online] Available at: <https://www.teknikpemesinan.com/2019/11/soal-ulangan-dasar-perancangan-teknik-mesin-dasar-teknik-pemesinan.html> [Accessed 29 Januari 2023].
- Teknologi Manufaktur, 2022. *Teknik Mesin Manufaktur*. [Online] Available at: <https://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/2018/02/tabel-sifat-bahan-yang-sering-digunakan-di-bidang-teknik-mesin.html> [Accessed 03 Februari 2023].
- Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), pp. 60-65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M. & Afgani, A. A., 2021. Impementasi Material Titanium pada Sepeda Listrik sebagai Rangka yang Efisien. *JTMMX*, II(1), pp. 13-18.

- Wikimedia Indonesia, 2022. *Wikipedia*. [Online]
Available at: <https://id.wikipedia.org/wiki/Bahan>
[Accessed 03 Februari 2023].
- Wikimedia project, 2023. *Wikipedia*. [Online]
Available at: https://id.wikipedia.org/wiki/Aberasi_optik
[Accessed 10 Februari 2023].

BIODATA PENULIS



Dr. Ratnadewi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Program Studi Teknik Elektro dan Program Studi Magister Teknik Informatika, Universitas Kristen Maranatha. Menyelesaikan pendidikan S1 dari Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Maranatha, melanjutkan pendidikan S2 dari Jurusan Sistem Informasi Telekomunikasi, Institut Teknologi Bandung. Menempuh pendidikan S3 dari Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung. Ketertarikan bidang ilmu yaitu teknik elektro, pengolahan sinyal, pengolahan citra, kriptografi, optimasi, kecerdasan buatan. Bersama rekan-rekan menulis buku-buku mengenai teknik elektro, batik, kedokteran, dan budaya. Bekerja sebagai editor buku dan reviewer jurnal. Penelitian bersama pada saat ini terkait pengolahan citra dan kecerdasan buatan, bekerja sama dengan kedokteran, senirupa, maupun mandiri. Email: ratnadewi@maranatha.ac.id.

BIODATA PENULIS



Erwin Randjawali, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Matematika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Kristen Wira Wacana Sumba

Penulis merupakan dosen tetap di Prodi Pendidikan Matematika, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Penulis mengampu matakuliah Fisika Dasar, serta matakuliah-matakuliah lainnya seperti Kalkulus dan Pemrograman Komputer. Penulis juga aktif melakukan penelitian di bidang Fisika serta Pendidikan Fisika. Selain itu, penulis juga melaksanakan kegiatan PkM untuk mengimplementasikan hasil-hasil penelitian, khususnya di bidang pendidikan MIPA.

BIODATA PENULIS



Zahriah, S.Pd.I, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Penulis lahir di Bener Meriah, Provinsi Aceh tanggal 13 April 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Fisika IAIN Ar-Raniry Banda Aceh dan melanjutkan S2 pada Program Magister Pendidikan IPA (Konsentrasi Pendidikan Fisika) Universitas Syiah Kuala. Penulis memiliki keahlian di bidang Pendidikan Fisika dan saat ini aktif mengajar, menulis dan meneliti bidang tersebut sesuai dengan tuntutan tri dharma perguruan tinggi .

BIODATA PENULIS



Zulkarnaini

Penulis lahir di Tanjong Cengai Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh tanggal 25 Maret 1965. Penulis adalah Dosen LLDIKTI XIII Wilayah Aceh dpk pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Abulyatama. Menyelesaikan Pendidikan S1 pendidikan Fisika Universitas Syiah Kuala Banda Aceh dan S2 Jurusan MIPA Prodi Agroklimatologi IPB Bogor. Saat ini, Agustus 2022 sedang memperbaiki Disertasi dalam rangka menyelesaikan program Doktor pada Program Studi Pendidikan Agama Islam (PAI) UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh. Penulis telah menyelesaikan beberapa *e-book* yang ber-ISBN dan mendapatkan HAKI sebanyak tiga buah, yaitu ***Evaluasi Pembelajaran, Fisika Dasar Pada Industri, Metodologi Penelitian Kuantitatif, Metode Pembelajaran Kreatif dan Aplikasi Pembelajaran Digital serta Metode Pengembangan Moral Nilai Agama***. Penulis juga menekuni bidang lainnya seperti Fisika, Statistik, Metodologi Pendidikan dan Evaluasi Pembelajaran dan beberapa disiplin ilmu lainnya sesuai mata kuliah pada prodi pendidikan fisika FKIP Universitas Abulyatama.

BIODATA PENULIS



Rusydi, ST., M.Pd.

Ketua Program Studi Arsitektur Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry.

Penulis lahir di Tanoh Anoe Kabupaten Bireuen, Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam pada tanggal 11 Nopember 1966. Penulis adalah Dosen Tetap Bidang Ilmu Pendidikan Fisika pada Prodi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh. Penulis menyelesaikan pendidikan pada jenjang S1 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin di Universitas Syiah Kuala (USK) dan melanjutkan pendidikan pada jenjang S2 di Program Magister Ilmu Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam Konsentrasi Pendidikan Ilmu Fisika.

Penulis menekuni Bidang Ilmu Fisika secara umum lebih khusus bidang Fisika Energi, Metodologi Pendidikan, Evaluasi Pembelajaran, Statistika dan Metodologi Penelitian Pendidikan dan bidang lain yang relevan dengan Ilmu Fisika dan Pembelajaran Fisika di Prodi Pendidikan Fisika Tarbiyah UIN Ar-Raniry.

Email : rusydi_ta@ar-raniry.ac.id

BIODATA PENULIS



Rianto Wibowo, S.T., M.Eng.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

Penulis lahir di Demak tanggal 30 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus.

Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis mengajar matakuliah Fisika Teknik I dan II di Program Studi Teknik Mesin dan Teknik Industri Universitas Muria Kudus, Jawa Tengah. Penulis menekuni bidang Menulis.

Email penulis : rianto.wibowo@umk.ac.id

BIODATA PENULIS



Rasydah Nur Tuada, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Ujung Pandang, 7 Oktober 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Fisika di Universitas Mataram dan melanjutkan S2 pada Jurusan yang sama di Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis menekuni bidang Menulis. Salah satu buku yang pernah di tulis berjudul Gelombang Bunyi. Selain itu, Aktif menulis artikel ilmiah dan di publikasikan dalam jurnal Nasional maupun Internasional. Tahun 2019, mendapatkan penghargaan sebagai Best Presenter pada International Seminar on Science Education (ISSE) dengan artikel *Physics mobile learning with scaffolding approach in simple harmonic motion to improve student learning Independent*.

BIODATA PENULIS



Nurlina, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Majene tanggal 11 Januari 1994. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi barat. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Makassar dan melanjutkan S2 di Jurusan Fisika di Institut Teknologi Bandung.

BIODATA PENULIS



Nursakinah Annisa Lutfin, S.Pd., M.Si.
Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 30 Mei 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Makassar dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi

Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 15 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar Negara dan dalam negri.