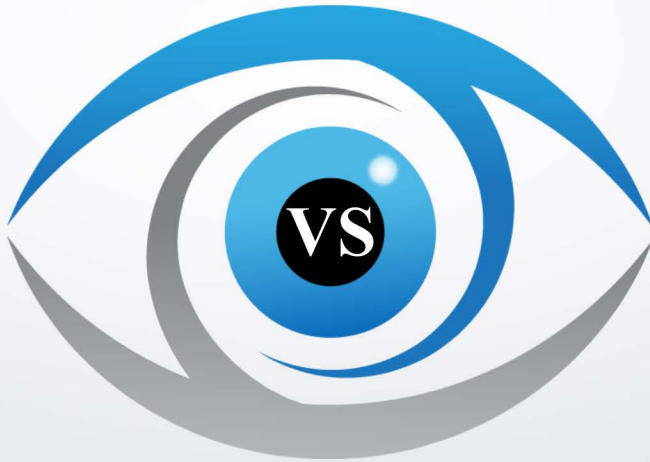


Pemeriksaan Tajam Penglihatan

Konvensional



Aplikasi

**Hanna Nurul Husna, S.Pd., M.Pd.
Itmam Milataka, A.Md.RO.**



PEMERIKSAAN TAJAM PENGLIHATAN KONVENSIONAL VS APLIKASI

PEMERIKSAAN TAJAM PENGLIHATAN KONVENSIONAL VS APLIKASI

Hanna Nurul Husna, S.Pd., M.Pd.
Itmam Milataka, A.Md.RO



PEMERIKSAAN TAJAM PENGLIHATAN KONVENSIONAL VS APLIKASI

Penulis:

Hanna Nurul Husna, S.Pd., M.Pd.
Itmam Milataka, A.Md.RO

Editor:

Hanna Nurul Husna, S.Pd., M.Pd.

Layouter :

Tim Kreatif PRCI

Cover:

Rusli

Cetakan Pertama : September 2022

Hak Cipta 2022, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I – : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022
; 14,8 x 21 cm
ISBN : 978-623-448-256-0

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Illahi Robbi, bahwa buku ini telah disusun sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Buku ini dikemas dalam yang berjudul “Pemeriksaan Tajam Penglihatan. Evaluasi Pemeriksaan Konvensional vs Aplikasi”.

Pada pemeriksaan tajam penglihatan dibutuhkan kartu pemeriksaan sebagai instrumen utama. Seiring dengan perkembangan teknologi, kartu pemeriksaan tajam penglihatan telah bertransformasi menjadi aplikasi-aplikasi. Terdapat banyak aplikasi pemeriksaan tajam penglihatan yang bisa diunduh secara gratis ataupun berbayar yang bisa digunakan untuk hal ini. Akan tetapi, penelitian yang terkait dengan tingkat akurasi aplikasi tersebut masih jarang ditemukan. Buku ini membahas mengenai keterikatan antara tajam penglihatan, kartu pemeriksaan, serta penggunaan aplikasi dalam pemeriksaan tajam penglihatan. Buku ini terdiri dari 6 bab yang menjelaskan mengenai prinsip dari tajam penglihatan pada mata ditinjau dari sudut pandang Fisika; kartu dan teknik dalam pemeriksaan tajam penglihatan; serta evaluasi aplikasi yang bisa digunakan untuk pemeriksaan tajam penglihatan.

Penulis berharap karya intelektual ini dapat bermanfaat pembaca khususnya para Optometris serta masyarakat pada umumnya.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	II
DAFTAR TABEL	IV
DAFTAR GAMBAR	V
BAB I CAHAYA	1
Perkembangan Teori Cahaya	1
Cahaya sebagai Gelombang Elektromagnetik	4
Cahaya sebagai Foton	5
Sumber Cahaya	6
Sinar Matahari	7
Vergensi Cahaya	8
Sifat-sifat Cahaya	9
Pengukuran Intensitas Cahaya/Fotometri	13
BAB II MATA SEBAGAI ALAT OPTIK	14
Anatomi Mata	14
Mata sebagai Alat Optik	22
BAB III KELAINAN REFRAKSI	25
Miopia	26
Hipermetropia	29
Astigmatism	31
Presbiopia	35
Anisometropia	36
BAB IV PEMERIKSAAN TAJAM PENGLIHATAN	40
Tajam Penglihatan	40
Standar Pemeriksaan Tajam Penglihatan	44
1. Sarana	44
2. Prasarana	44
3. Peralatan	44
Kartu Pemeriksaan dalam Pemeriksaan Tajam Penglihatan	45
1. Snellen <i>Chart</i>	50

2. LogMAR Chart	55
3. Tumbling E Chart	61
4. Landolt C Ring	61
5. Lea Test	62
6. HOTV Chart	62
7. Jaeger Chart	63
8. Bailey-Lovie Word Reading Chart	63
9. <i>The Colenbrander English Continuous Text Near Vision Cards</i>	65
10. <i>The Oculus Reading Probe II</i>	66
11. <i>The MNREAD Charts</i>	67
12. <i>The RADNER Reading Chart</i>	68
Prinsip Pemeriksaan Tajam Penglihatan	69
BAB V APLIKASI PEMERIKSAAN TAJAM PENGLIHATAN	73
Aplikasi Pemeriksaan Tajam Penglihatan	75
Penggunaan Aplikasi Pemeriksaan Tajam Penglihatan	83
1. Aplikasi Snellen chart	84
2. Aplikasi Peek Acuity	86
3. <i>Aplikasi Snellen Chart, Tumbling Eye Chart, Visual Acuity Chart</i>	89
BAB VI EVALUASI APLIKASI PEMERIKSAAN TAJAM PENGLIHATAN	93
DAFTAR PUSTAKA	107
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	112

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Indeks bias berbagai media pada mata	23
Tabel 2. Jari-jari kelengkungan berbagai permukaan optik	23
Tabel 3. Kekuatan pembias dari berbagai komponen optik di mata	24
Tabel 4. Konversi tajam penglihatan	59
Tabel 5. Daftar aplikasi pemeriksaan tajam penglihatan yang dianalisis.....	77
Tabel 6. Hasil pengukuran tajam penglihatan EL dan SC.....	96
Tabel 7. Perbandingan pengukuran tajam penglihatan EL-SC.....	97
Tabel 8. Perbandingan tajam penglihatan menggunakan ETDRS LogMAR dan kedua aplikasi.....	99
Tabel 9. Perbandingan pengukuran tajam penglihatan menggunakan kedua aplikasi.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Visualisasi prinsip gelombang Huygens	2
Gambar 2. Gelombang elektromagnetik terdiri dari gelombang listrik dan gelombang magnetik yang saling tegak lurus ...	3
Gambar 3. Spektrum gelombang elektromagnetik.....	4
Gambar 4. Ilustrasi cahaya sebagai foton dan gelombang	6
Gambar 5. Spektrum sinar matahari	7
Gambar 6. Pemantulan/refleksi.....	10
Gambar 7. Ilustrasi absorption/penyerapan.....	10
Gambar 8. Pembiasan terjadi jika cahaya melewati dua medium dengan sudut tertentu	11
Gambar 9. Peristiwa difraksi dan interferensi dalam kehidupan sehari-hari	12
Gambar 10. Ilustrasi dari penghamburan cahaya.....	12
Gambar 11. Luxmeter	13
Gambar 12. Bagian mata eksternal	14
Gambar 13. Bagian konjungtiva.....	17
Gambar 14. Bagian mata internal.....	18
Gambar 15. Proses pembentukan bayangan di mata	22
Gambar 16. Pembentukan fokus bayangan di depan retina pada mata miopia	26
Gambar 17. Klasifikasi miopia	27
Gambar 18. Penglihatan penderita miopia	28
Gambar 19. Pembentukan fokus bayangan di belakang retina pada mata miopia	29
Gambar 20. Penglihatan penderita hipermetropia	31
Gambar 21. Analogi <i>toric surface</i> seperti bola <i>rugby</i>	32
Gambar 22. Klasifikasi astigmatim dan koreksi lensa yang digunakan	33
Gambar 23. Ilustrasi jatuhnya sinar pada astigmatism. (a) simple myopic astigmatism. (b) compound myopic astigmatism. (c) simple hypermetropia astigmatism. (d) compound hypermetropia astigmatism	34
Gambar 24. Penglihatan penderita astigmatism	35
Gambar 25. Penglihatan penderita presbiopia	36

Gambar 26. Ilustrasi penglihatan anisometropia.....	37
Gambar 27. Klasifikasi anisometropia	38
Gambar 28. Sudut visual	41
Gambar 29. Kuechler chart yang terdiri dari tiga chart kartu pemeriksaan.....	46
Gambar 30. Snellen chart. Dua dari kiri tidak dipublikasikan. Paling kiri: Snellen chart yang dipublikasikan.....	47
Gambar 31. John Green's chart	48
Gambar 32. (a) Snellen chart huruf; (b) Snellen chart angka; (c) Snellen chart reversible; (d) Snellen chart yang banyak digunakan saat ini.....	50
Gambar 33. Konstruksi optotip E membentuk sudut 5 menit busur (warna biru cerah) dan 1 menit busur (warna biru gelap)	51
Gambar 34. Hubungan antara ukuran optotip dengan jarak dari mata.....	52
Gambar 35. Bailey-Lovie LogMAR chart.....	56
Gambar 36. ETDRS LogMAR chart.....	57
Gambar 37. Jenis-jenis LogMAR. (A) ETDRS; (B) Tumbling E; (C) Landlot C; (D) HOVT; (E) Lea Symbol.....	60
Gambar 38. Tumbling E-chart.....	61
Gambar 39. Landlot C dalam berbagai ukuran dan orientasi.....	62
Gambar 40. Lea chart dan Lea card.....	62
Gambar 41. HOTV chart dan HOTV card	63
Gambar 42. Bailey-Lovie Word Reading Charts.....	64
Gambar 43. The Colenbrader Continuous Test Near Vision Cards.....	65
Gambar 44. The Oculus Reading Probe.....	66
Gambar 45. MNREAD chart.....	68
Gambar 46. Radner Reading Chart.....	69
Gambar 47. Proses skrining aplikasi pemeriksaan tajam penglihatan	77
Gambar 48. Rangkuman fitur aplikasi pemeriksaan tajam penglihatan	82
Gambar 49. Tampilan pada aplikasi Snellen chart.....	85
Gambar 50. Tahapan dalam penggunaan aplikasi Peek Acuity	87

Gambar 51. Fitur kalibrasi pada aplikasi Peek Acuity.....	88
Gambar 52. Pemeriksaan tajam penglihatan menggunakan aplikasi Peek Acuity.....	95
Gambar 53. Bantuan diberikan untuk mengoperasikan layar pada aplikasi self-testing.....	96
Gambar 54. Bland-Altman plot untuk EL dan SC	98
Gambar 55. Bland-Altman plot untuk EL vs PA dan EL vs VAC.....	101

BAB I CAHAYA

Cahaya merupakan komponen yang sangat penting dalam penglihatan. Manusia tidak akan bisa melihat jika tidak ada pemantulan cahaya dari benda. Cahaya dibahas dalam kajian Optik pada keilmuan Fisika. Interaksi antara cahaya dengan benda akan menurunkan keilmuan lainnya seperti optika geometri, optika fisik, dan optika kuantum.

Optika geometri menggambarkan cahaya sebagai berkas sinar. Optika geometri menjelaskan karakteristik pembentukan bayangan dari sistem optik. Sedangkan optika kuantum menjelaskan interaksi optik-benda dengan menggunakan teori bahwa cahaya memiliki sifat sebagai gelombang dan juga partikel (paket energi/kuanta).

Bahasan cahaya pada buku ini merupakan pada optika geometri dan fisik.

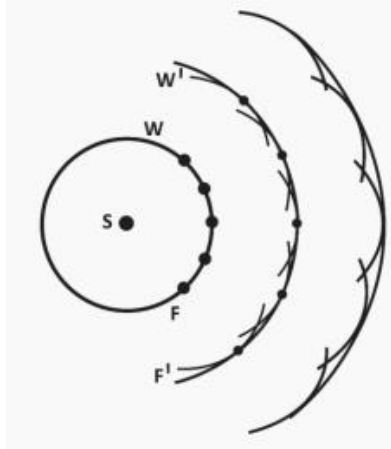
Perkembangan Teori Cahaya

Sampai abad ke-19, cahaya dianggap sebagai aliran partikel yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Penemu dari teori partikel cahaya adalah Isaac Newton. Dengan teori ini, dia dapat menjelaskan berbagai fenomena yang berkaitan dengan cahaya -yang akhirnya dikenal dengan hukum pembiasan dan pemantulan. Menurut Newton, cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya, akan terus bergerak lurus sampai batas dengan medium lainnya. Dia memprediksi kecepatan cahaya di medium lainnya seperti air akan lebih besar daripada kecepatan cahaya di udara. Hal ini berlawanan dengan hasil yang dikemukakan oleh teori gelombang.

Teori lainnya mengenai cahaya pun terus bermunculan. Pada tahun 1678, fisikawan dan astronomer Belanda yaitu Christian Huygens mengemukakan bahwa teori gelombang cahaya dapat juga menjelaskan hukum pemantulan dan pembiasan. Teori Huygens ini juga dapat membuktikan bahwa cahaya yang memasuki medium lainnya

selain udara akan mengalami pembelokkan dengan sudut tertentu.

Di abad ke 17, fisikawan dan matematikawan Belanda Christian Huygens beserta timnya telah meneliti berbagai macam fenomena optik. Dalam menjelaskan fenomena cahaya tertentu, dia menganggap bahwa cahaya bergerak dalam bentuk gelombang. Teori gelombang Huygens mendeskripsikan cahaya sebagai gelombang yang menyebar keluar dari sumber cahaya. Gelombang ini membentuk gelombang bulat/spheris (*spherical waves*). Gambar 1 di bawah ini menunjukkan ilustrasi dalam bentuk dua dimensi gelombang spheris dari sumber S tempat gelombang keluar melingkar yang disebut dengan muka gelombang (*wavefronts*). Setiap muka gelombang menghasilkan gelombang-gelombang baru (*wavelet*) yang memiliki fase, amplitudo, dan panjang gelombang yang sama dengan gelombang sederhana. Fenomena ini dikenal dengan **Prinsip Huygens**. Prinsip Huygens dapat diamati di kehidupan sehari-hari pada gelombang yang diciptakan oleh riak air.



Gambar 1. Visualisasi prinsip gelombang Huygens

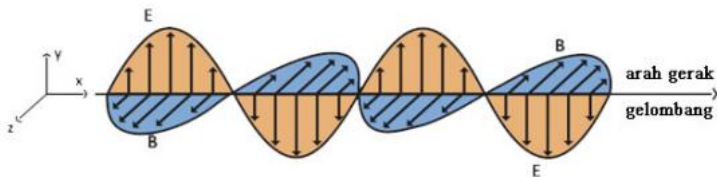
Sumber: (M. Smith, 2014a)

Pada gambar 1 di atas, S menunjukkan sumber getaran yang menyebabkan terbentuknya gelombang. WF

menunjukkan muka gelombang yang terbentuk dari getaran yang dihasilkan oleh sumber S. Muka gelombang WF menghasilkan gelombang-gelombang baru yaitu WF' yang memiliki fasa dan panjang gelombang yang sama.

Pada tahun 1865, Ilmuwan Skotlandia, James Clark Maxwell mengembangkan teori yang menjelaskan gelombang elektromagnetik. Dia menemukan bahwa medan listrik dan medan magnet dapat bersatu dan membentuk gelombang elektromagnetik. Dia merangkum temuannya ini sebagai gelombang elektromagnetik yang dikenal sekarang ini dalam persamaan Maxwell.

Cahaya berbentuk gelombang transversal. Pada gambar 2 di bawah ini, dapat dilihat bahwa gelombang elektromagnetik dibentuk dari gelombang listrik E dan magnetik B yang saling berhubungan dan tegak lurus. Gelombang listrik memiliki arah ke atas (vektor y), dan gelombang magnetik memiliki arah ke samping (vektor x). Pergerakan antara kedua gelombang tersebut akan menentukan arah gerak dari gelombang elektromagnetik (vektor z).



Gambar 2. Gelombang elektromagnetik terdiri dari gelombang listrik dan gelombang magnetik yang saling tegak lurus

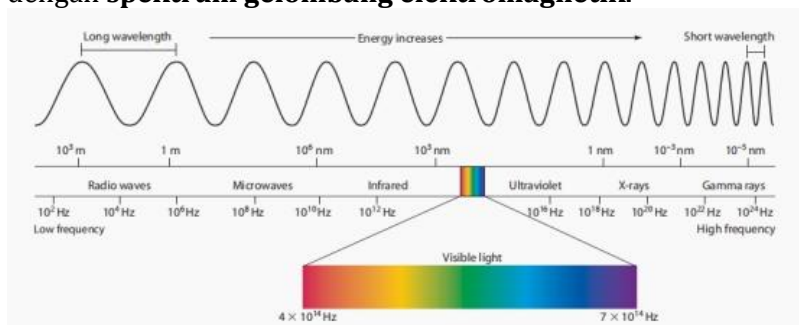
Sumber: (M. Smith, 2014a)

Pada tahun 1905, Einstein mempublikasikan hasil penelitiannya yang menyatakan bahwa cahaya merupakan kuantum dari energi yang diskontinu. Lebih jauhnya dia menyatakan bahwa interaksi antara cahaya dengan materi juga melibatkan kuantum. Oleh karena itu, cahaya dianggap memiliki dua sifat, yaitu sebagai gelombang dan juga sebagai partikel. Kedua sifat ini dapat digunakan untuk menjelaskan

fenomena-fenomena cahaya. Cahaya sebagai partikel dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena yang tidak dapat dijelaskan dengan konsep cahaya sebagai gelombang. Misalnya pergerakan cahaya dan interferensi cahaya dapat dijelaskan dengan baik oleh konsep cahaya sebagai gelombang, akan tetapi fenomena seperti efek fotolistrik tidak dapat dijelaskan oleh konsep ini. Efek fotolistrik dapat dijelaskan dengan baik dengan menganggap cahaya sebagai partikel.

Cahaya sebagai Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tercipta karena elektron berosilasi. Ada banyak jenis gelombang elektromagnetik yang dibedakan berdasarkan frekuensi, energi dan panjang gelombang yang disebut dengan **spektrum gelombang elektromagnetik**.



Gambar 3. Spektrum gelombang elektromagnetik

Sumber: (M. Smith, 2014a)

Spektrum gelombang elektromagnetik dari frekuensi rendah ke tinggi terdiri dari: gelombang radio, gelombang mikro, gelombang inframerah, cahaya tampak, gelombang ultraviolet, sinar X, dan sinar gamma. Frekuensi selalu berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Artinya jika frekuensi rendah akan menghasilkan panjang gelombang yang besar sedangkan frekuensi yang tinggi akan menghasilkan panjang gelombang yang lebih pendek. Gelombang radio memiliki frekuensi paling rendah di

spektrum elektromagnetik, tapi memiliki panjang gelombang paling besar dari semua gelombang pada spektrum. Sinar gamma memiliki frekuensi paling tinggi tapi memiliki panjang gelombang paling rendah. Jika dari gelombang radio ke sinar gamma frekuensinya semakin membesar, maka panjang gelombangnya semakin memendek. Begitu pun sebaliknya.

Cahaya tampak merupakan bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang 400-700 nanometer = 4×10^{12} hingga 7×10^{12} m. Disebut cahaya tampak karena mata manusia dapat mendeteksi gelombang dari 380 nm hingga 700 nm. Sel kerucut di mata manusia bertindak sebagai *receiver* atau penerima gelombang ini. Spektrum dengan panjang gelombang lainnya yang terlalu besar ataupun terlalu kecil tidak dapat terdeteksi karena keterbatasan biologi dari persepsi manusia.

Ketika cahaya tampak melewati prisma, maka cahaya akan terurai menjadi spektrum pelangi karena perbedaan panjang gelombang masing-masing warna. Spektrum cahaya tersebut terdiri dari warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Warna merah memiliki frekuensi cahaya yang paling rendah, dan frekuensi yang paling besar adalah ungu. Dari warna merah ke warna ungu, frekuensi gelombangnya semakin meningkat, tapi panjang gelombangnya semakin pendek. Warna ungu memiliki panjang gelombang 380 nm, dan warna merah memiliki panjang gelombang 700nm. Hal ini bisa dilihat pada pelangi, warna merah memiliki panjang yang lebih besar dibandingkan dengan warna-warna yang lainnya.

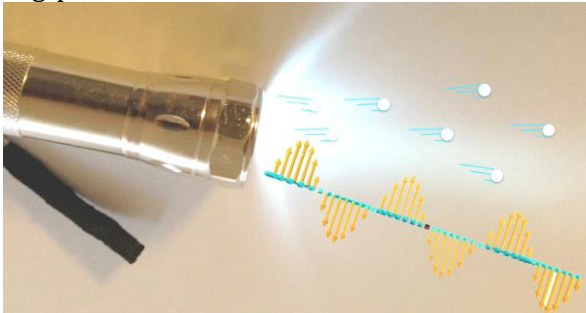
Cahaya sebagai Foton

Selain sebagai gelombang, cahaya juga bertindak sebagai foton. Secara garis besar sumber cahaya dapat dibagi menjadi dua bentuk yaitu gelombang dan foton. Cahaya biasanya dianggap berbentuk gelombang, tapi dapat juga dianggap sebagai paket-paket kecil yang disebut foton. Paket tersebut membawa energi tapi tidak memiliki massa. Energi

foton tergantung dari panjang gelombang: foton dengan panjang gelombang besar memiliki energi yang lebih kecil, dan begitu pun sebaliknya.

Di sekitar tahun 1900, para ilmuwan hanya menganggap bahwa cahaya adalah gelombang. Sampai Max Planck melakukan percobaan efek fotolistrik. Dari hasil eksperimennya menunjukkan bahwa logam akan mengeluarkan elektron jika disinari cahaya. Jika intensitas cahaya diperbesar, jumlah elektron yang dikeluarkan semakin banyak tapi tidak dengan kecepatannya. Fenomena ini tidak dapat dijelaskan jika menganggap cahaya sebagai gelombang.

Einstein-lah yang pertama kali menjelaskan apa yang terjadi. Dia mengajukan teori bahwa energi elektromagnetik berbentuk paket-paket kecil yang disebut kuantum, dan dikenal dengan foton. Jadi, cahaya itu bertindak sebagai gelombang dan juga sebagai partikel, tergantung dari keadaan dan efek yang terlihat. Teori ini dikenal dengan teori dualisme gelombang-partikel.



Gambar 4. Ilustrasi cahaya sebagai foton dan gelombang
Sumber: (www.wired.com, 2013)

Sumber Cahaya

Secara garis besar sumber cahaya dapat dibagi menjadi dua macam:

1. Cahaya Alam (*Natural Light*)

Contoh dari cahaya alam adalah cahaya matahari ataupun yang dihasilkan dari makhluk hidup. Cahaya matahari merupakan sumber cahaya yang utama dan dominan.

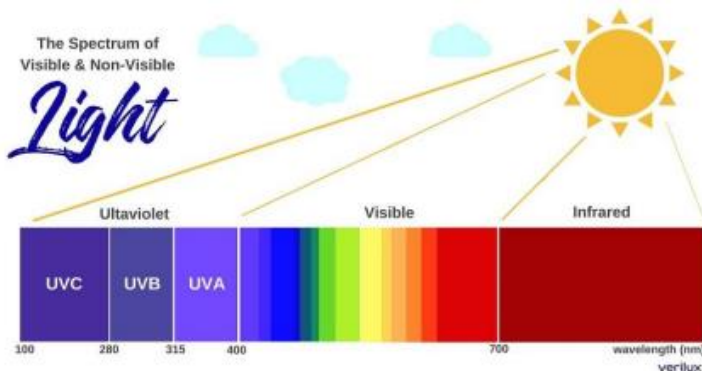
Cahaya ini tergantung pada waktu (siang-malam), musim, dan awan. Cahaya yang dihasilkan oleh makhluk hidup misalnya kunang-kunang.

2. Cahaya Buatan (*Artificial Light*)

Cahaya buatan ini meliputi cahaya listrik (*flouresen*), cahaya gas, lampu, lilin. Cahaya jenis ini digunakan sebagai pelengkap penerangan dll.

Sinar Matahari

Diperkirakan 43% radiasi matahari berupa sinar tampak. Sisanya sekitar 49% berupa sinar inframerah dan 7% sinar ultraviolet. Kurang dari 1% berupa sinar-x, sinar gamma, dan gelombang radio. Radiasi spektrum elektromagnetik matahari ke bumi berkisar antara 100 - 10⁶ nano-meter.



Gambar 5. Spektrum sinar matahari

Sumber: (www.varilux.com, 2021)

Spektrum ini dapat dibagi menjadi lima bagian berdasarkan panjang gelombangnya yaitu UVC, UVB, UVA, sinar tampak, dan sinar inframerah.

1. Ultraviolet C atau UVC berkisar antara 100 sampai 280 nm. Radiasi ini berada di frekuensi yang lebih besar daripada sinar ultraviolet dan tidak terlihat oleh mata manusia. Gelombang ini diserap oleh atmosfer bumi dan tidak ada gelombang yang sampai ke permukaan bumi.

Sinar UVC biasanya ditemukan di peralatan yang dibuat manusia seperti lampu merkuri dan lampu UV. Sinar jenis ini digunakan untuk sterilisasi. Paparan UVC dalam jangka pendek dapat menyebabkan kemerahan dan reaksi peradangan pada kulit.

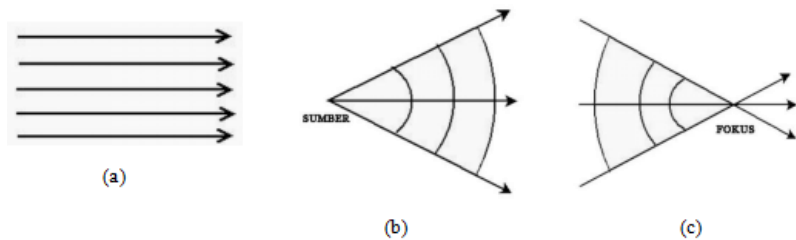
2. Ultraviolet B atau UVB berkisar antara 280 sampai 315 nm. Gelombang ini biasanya diserap oleh atmosfer bumi tapi dapat mencapai permukaan bumi. Sinar UVB merusak kulit secara langsung dan menyebabkan kulit terbakar. Jika sinar ini terkena langsung ke mata, maka bisa menyebabkan fotokeratitis.
3. Ultraviolet A atau UVA berkisar antara 315 sampai 400 nanometer. Gelombang ini berbahaya bagi DNA, tapi masih lebih rendah tingkat bahayanya dibandingkan dengan jenis lainnya. Paparan gelombang ini menyebabkan munculnya tanda-tanda penuaan bagi kulit seperti kulit kering, keriput dan sebagai pemicu kanker kulit. Sinar ini pun bisa menyebabkan fotokeratitis.
4. Sinar tampak berkisar antara 400 sampai 700 nm.
5. Sinar inframerah berkisar antara 700 sampai 10^6 nm. Sinar ini juga dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan panjang gelombangnya:
 - A. *Infrared A* : 700 - 1.400 nm.
 - B. *Infrared B* : 1.400 - 3.000 nm.
 - C. *Infrared C*: 3.000 nm - 1 mm.Sinar infra merah sering digunakan dalam kesehatan untuk fotografi tubuh (pupil, vena dll). Penggunaan yang tidak tepat dan berlebihan dapat menyebabkan "heat stress" pada tubuh dan katarak pada mata.

Vergensi Cahaya

Optika geometri menganggap bahwa cahaya akan selalu bergerak lurus secara paralel sampai mencapai batas antara dua medium yang berbeda. Akan tetapi pergerakan cahaya tidak selalu paralel. Jika mata manusia digunakan sebagai acuan dan dianggap sebagai titik. Maka gerakan

berkas cahaya akan berkumpul dan mengerucut. Kumpulan berkas cahaya ini disebut dengan vergensi cahaya.

Vergensi adalah ukuran suatu berkas cahaya ketika berasal atau datang dari suatu titik. Ketika cahaya berkumpul atau konvergen, maka vergensi bernilai positif. Ketika cahaya menyebar atau divergen, maka vergensi bernilai negatif. Sedangkan jika sinar datang sejajar atau paralel maka vergensi bernilai nol.



Gambar 6. (a) sinar paralel; (b) sinar menyebar (divergen); (c) sinar mengumpul (konvergen)

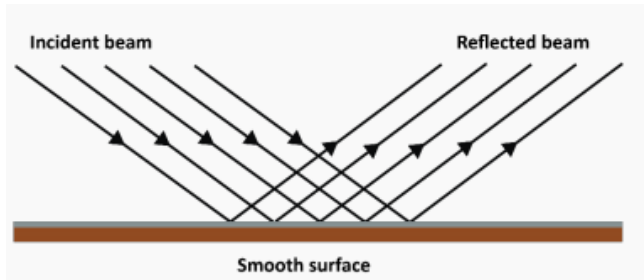
Sumber: (M. Smith, 2014a)

Sifat-sifat Cahaya

Ketika cahaya sampai ke suatu objek, maka cahaya kemungkinan akan diteruskan, dipantulkan, diserap, dibiaskan, mengalami polarisasi, mengalami difraksi, atau disebarkan tergantung dari komposisi objek dan panjang gelombang cahaya.

1) Refleksi

Refleksi atau pemantulan terjadi ketika cahaya datang pada suatu benda dan memantul. Peristiwa ini biasanya terjadi pada permukaan yang licin seperti cermin. Penyebab terjadinya pemantulan pada cermin ini disebabkan karena adanya deposit kimia dari silver kaca. Lapisan silver berada di bagian permukaan (*front reflecting mirror*), dan bagian reflektor berasal dari lapisan deposit aluminium (*back reflecting mirror*).

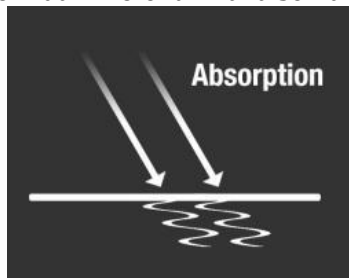


Gambar 6. Pemantulan/refleksi
SUMBER: (M. SMITH, 2014B)

Ketika seberkas cahaya sampai pada suatu benda dan dipantulkan maka panjang gelombang dari cahaya yang dipantulkan akan menentukan warna dari benda.

2) Absorpsi

Absorpsi atau penyerapan terjadi ketika foton dari cahaya diserap oleh benda. Ketika suatu cahaya diserap oleh suatu benda, maka benda akan berwarna gelap. Energi foton tersebut menumbuk atom dan molekul sehingga menyebabkan atom dan molekul tersebut bergetar. Semakin besar getaran atom dan molekul maka semakin panas.



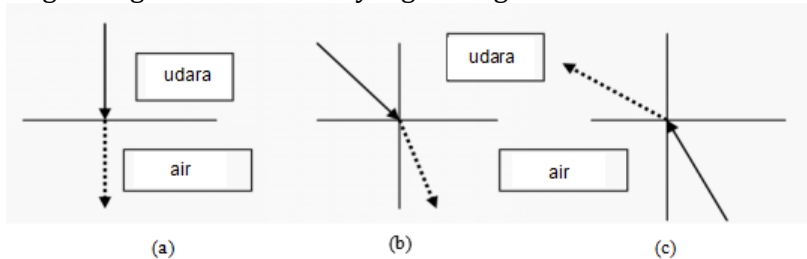
Gambar 7. Ilustrasi absorption/penyerapan
Sumber: (www.science.nasa.gov, 2016)

3) Refraksi

Ketika cahaya jatuh di permukaan benda transparan, maka sebagian cahaya akan dipantulkan (refleksi) dan sebagian lagi akan dibiaskan (refraksi). Pembiasan terjadi ketika arah gelombang cahaya berubah saat bergerak dari

satu medium ke medium lainnya. Jika cahaya sebagian melewati dan sebagian dipantulkan, maka medium translucent. Jika semua cahaya melewati medium maka disebut dengan medium transparan. Saat cahaya berpindah medium, kecepatan cahaya berubah. Perubahan kecepatan cahaya ini disebabkan karena perubahan sudut yang dibentuk saat cahaya melewati medium.

Saat cahaya melewati dua medium berbeda dengan posisi tegak lurus, tidak akan terjadi pembiasan. Tapi jika cahaya melewati dua medium berbeda dengan sudut tertentu maka akan terjadi pembiasan. Besarnya pembiasan tergantung dari sudut sinar yang datang.



Gambar 8. Pembiasan terjadi jika cahaya melewati dua medium dengan sudut tertentu

4) Difraksi dan Interferensi

Difraksi adalah peristiwa penyebaran dan pembelokan gelombang ketika melewati celah sempit. Difraksi terjadi jika ukuran gelombang lebih besar daripada ukuran celah. Peristiwa difraksi dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti saat cahaya melewati celah pintu, ombak melewati celah karang, dan CD yang berwarna warni.



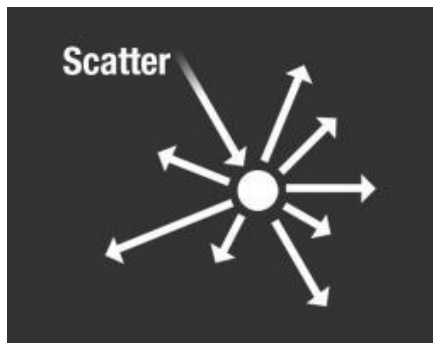
Gambar 9. Peristiwa difraksi dan interferensi dalam kehidupan sehari-hari

Peristiwa difraksi kadang diikuti dengan peristiwa interferensi cahaya. Interferensi cahaya adalah perpaduan dua atau lebih gelombang menjadi satu gelombang baru.

5) Penghamburan

Penghamburan/*scattering* terjadi ketika cahaya memantul dari suatu benda ke segala arah. Besarnya penghamburan tergantung dari panjang gelombang cahaya serta ukuran dan struktur benda.

Langit berwarna biru karena penyebaran cahaya. Cahaya pada panjang gelombang pendek – yaitu biru dan ungu – dihamburkan oleh nitrogen dan oksigen di atmosfer. Panjang gelombang besar – yaitu merah dan kuning – tidak dihamburkan. Hal inilah yang menyebabkan warna langit menjadi biru.



Gambar 10. Ilustrasi dari penghamburan cahaya

Sumber: (www.science.nasa.gov , 2016)

Pengukuran Intensitas Cahaya/Fotometri

Fotometri adalah ilmu yang membahas mengenai pengukuran kuantitas cahaya dalam bentuk foton. Pengukuran fotometri bersatuan candela, lumen, dan lux. Lumen mengukur jumlah total cahaya tampak yang dikeluarkan oleh sumber cahaya. Lux (Lx) adalah lumen per meter persegi. Candela adalah satuan respon cahaya. Satu candela sama dengan 4π lumen.

Intensitas cahaya (simbol: I) atau kuat cahaya adalah jumlah arus cahaya yang dipancarkan dari sumber cahaya tiap satuan sudut ruang. Satuan intensitas cahaya dalam satuan internasional (SI) adalah candela (simbol: Cd). Satu candela didefinisikan sebagai kuat cahaya yang memberikan cahaya sebanyak $1/20$ kali banyaknya cahaya yang dipancarkan 1 cm^2 platina pada titik lebur. Alat ukur intensitas cahaya adalah fotometer atau lux meter (lightmeter).



Gambar 11. Luxmeter

Sumber: Wikipedia, (2021)

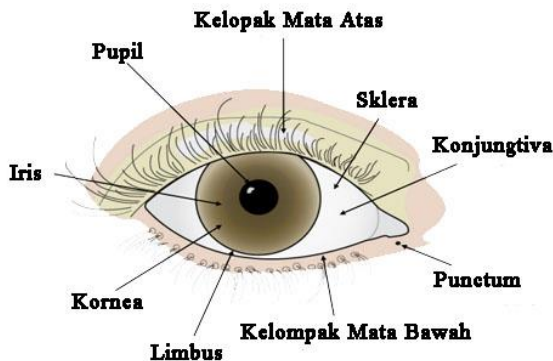
BAB II

MATA SEBAGAI ALAT OPTIK

Mata adalah bagian tubuh yang bisa menghasilkan bayangan optik dengan cara mengirimkan sinyal ke otak. Dengan cara kerja yang demikian, maka mata juga dapat dikelompokkan sebagai alat optik. Tujuan dari mata adalah penglihatan. Penglihatan yang jelas membutuhkan komponen-komponen yaitu: 1) *Optical* yang terdiri dari kornea, *aqueous*, lensa, dan *vitreous*; 2) *Neuro-chemical* yang terdapat di retina; dan 3) Saraf anterior untuk akomodasi, serta saraf posterior yang memanjang dari retina ke *visual cortex*.

Anatomi Mata

Mata manusia memiliki bagian-bagian yang bisa dilihat langsung dan tidak langsung. Bagian-bagian mata yang dapat dilihat secara langsung disebut dengan bagian mata luar atau eksternal. Sedangkan bagian-bagian mata yang tidak dapat dilihat langsung disebut bagian dalam atau internal. Bagian anatomi mata manusia secara eksternal dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 12. Bagian mata eksternal

1. Lapisan Air Mata (*Tear film*)

Lapisan air mata adalah lapisan berair yang terletak di depan mata. Lapisan ini menjaga bagian depan mata tetap basah, dan menyediakan nutrisi untuk kornea. Lapisan ini juga membuat lapisan tipis transparan yang membantu dalam pembiasan cahaya ke kornea.

2. Sklera

Sklera adalah bagian luar bola mata. Sklera merupakan lapisan yang keras, berbentuk bulat, dan berwarna putih di sekitar bola mata. Sklera bisa dianggap juga sebagai cangkang yang sangat kuat. Fungsinya adalah untuk melindungi bagian dalam bola mata dan menjaga bentuk bola mata. Sklera ditempeli enam otot *extraocular* yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan bola mata. Sklera juga terhubung dengan saraf optik.

3. Kornea

Kornea merupakan bagian terluar dari mata. Kornea berada di bagian depan sklera. Tidak berwarna melainkan transparan. Meskipun demikian, lapisan ini memiliki banyak sel saraf, sehingga gangguan pada kornea akan menyebabkan rasa sakit. Transparansi kornea sangat berperan dalam proses pembiasan cahaya pada mata.

Kornea memiliki ketebalan sekitar 0.5 mm. Bentuknya lebih melengkung dibandingkan dengan bagian-bagian mata lainnya. Diameter rata-rata kornea secara vertikal adalah 11 mm, dan horizontal 12 mm. Hal ini menyebabkan kornea lebih melengkung di bagian vertikal, yaitu sebesar 7.8 mm. Kekuatan/*power* di kornea adalah sebesar kurang lebih 40 Dioptri. Kornea berperan dalam membantu 2/3 proses fokus cahaya di mata.

Kornea memfokuskan bayangan dengan membiaskan cahaya. Indeks bias kornea sebesar 1.33. Di semua lapisan kornea, indeks bias-nya konstan, tapi kelengkungan kornea berbeda antara satu orang dan lainnya. Perbedaan kelengkungan permukaan kornea dapat menyebabkan gangguan penglihatan. Apabila kornea terlalu melengkung

maka mata akan berpenglihatan dekat (*near-sighted*). Apabila kornea kurang melengkung maka mata akan berpenglihatan jauh (*far-sightedness*). Apabila kelengkungan kornea tidak merata maka mata akan mengalami astigmatism.

Apabila kornea tergores, kornea akan sembuh sendiri. Kornea bisa rusak secara jika terkena radiasi ultraviolet, neutron, dan sinar X. Sinar-sinar tersebut dapat menyebabkan kekeruhan pada kornea dan menyebabkan sinar yang masuk ke mata menjadi terhambat.

4. Limbus

Limbus adalah bagian dimana kornea bertemu dengan konjungtiva bulbar.

5. Kelopak mata

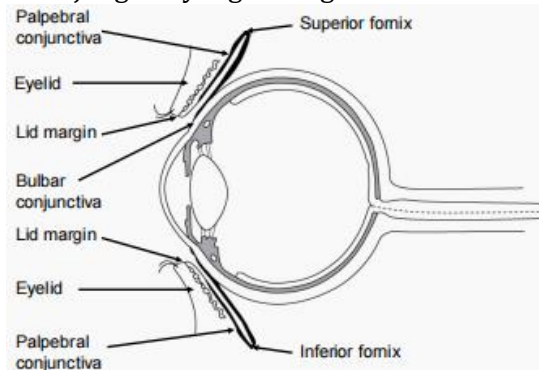
Kelopak mata adalah bagian kulit yang membuka dan menutup di bagian depan mata. Di bagian tepi kelopak mata terdapat bulu mata. Kelopak dan bulu mata berfungsi melindungi mata dari angin, debu, cahaya silau, dan benda asing. Saat berkedip, kelopak mata menyebarkan air mata. Air mata ini menjaga mata dari kekeringan dan juga menjaga mata agar selalu licin.

6. Konjungtiva (*Conjunctiva*)

Konjungtiva merupakan lapisan tipis yang melapisi bagian depan sklera dan berada di bagian dalam kelopak mata. Pembuluh darah dapat terlihat konjungtiva yang sehat. Konjungtiva terdiri dari dua bagian:

- a. Konjungtiva Bulbar (*Bulbar Conjunctiva*). Menutupi sklera di bagian depan mata. Bagian ini menutupi sebagian sklera tapi tidak menutupi kornea.
- b. Konjungtiva Palpebral (*Palpebral conjunctiva*). Menutupi bagian dalam kelopak mata atas dan bawah. Dikenal juga dengan konjungtiva kelopak mata. Konjungtiva bawah dapat dilihat dengan menarik kelopak mata bawah, begitupun dengan kelopak mata atas. Konjungtiva akan terlihat pada lapisan yang berwarna pink. Warna ini merupakan

campuran dari warna kelopak mata dan warna konjungtiva yang bening.



Gambar 13. Bagian konjungtiva

Sumber: (Brien Holden Vision Institue, 2013a)

7. Iris dan Pupil

Bagian dari mata yang berwarna disebut dengan iris. Iris berbentuk bulat pipih dengan lubang di bagian tengahnya dan berada dalam posisi menggantung dari otot siliaris. Iris terletak di belakang kornea dan *aqueous humor*, di depan *vitreous humor*.

Iris memberikan warna pada mata seperti warna hitam, coklat, biru, dll. Selain itu, Iris berperan dalam meningkatkan atau menurunkan cahaya yang jatuh ke retina sampai retina beradaptasi terhadap kondisi pencahayaan yang baru. Bagian yang berperan adalah pupil.

Lubang tengah di iris disebut dengan pupil. Pupil berwarna hitam karena bagian dalam bola mata gelap. Otot-otot di Iris-lah yang menyebabkan ukuran pupil berubah sesuai dengan kondisi pencahayaan. Pupil berfungsi sebagai pengontrol cahaya yang masuk ke mata. Pada kondisi penerangan biasa, pupil memiliki diameter sekitar 4 mm. Jika cahayanya terang, diameter pupil bisa berubah menjadi 3 mm, dan jika cahaya temaram diameter pupil bisa menjadi 8 mm.