

BAB – 14

C A H A Y A

14.1. Pendahuluan

Cahaya merupakan suatu bentuk energi yang sangat penting yang dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup yang ada di bumi. Tanpa adanya cahaya kehidupan di bumi pun dipastikan tidak dapat berjalan sempurna. Semua makhluk hidup menggantungkan hidupnya baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap keberadaan cahaya.

Tumbuh-tumbuhan memanfaatkan cahaya untuk proses fotosintesis yang dapat menghasilkan karbohidrat yang bisa dimanfaatkan untuk kehidupan manusia. Binatang juga memanfaatkan cahaya untuk memperoleh informasi tentang keberadaan lingkungannya. Bahkan ada juga binatang yang benar-benar bergantung pada cahaya seperti arthropoda dan kordata.

Tanpa dipungkiri, manusia juga sangat bergantung terhadap keberadaan cahaya. Tanpa cahaya kita tidak akan bisa apa-apa, sebagai contohnya proses melihat meskipun mata kita normal tapi jika tidak ada cahaya maka kita tidak akan bisa melihat. Begitu pentingnya peranan cahaya bagi makhluk hidup, oleh karena itu dalam makalah ini akan dibahas cahaya secara fisika dan aplikasinya dalam bidang biologi.

14.2. Teori tentang cahaya

Cahaya menurut Newton (1642 - 1727) terdiri dari partikel-partikel ringan berukuran sangat kecil yang dipancarkan oleh sumbernya ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi. Sementara menurut Huygens (1629 - 1695), cahaya adalah gelombang seperti halnya bunyi. Perbedaan antara keduanya hanya pada frekuensi dan panjang gelombangnya saja.

Dua pendapat di atas sepertinya saling bertentangan. Sebab tak mungkin cahaya bersifat partikel sekaligus sebagai partikel. Pasti salah satunya benar atau keduanya salah, yang pasti masing-masing pendapat di atas memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada zaman Newton dan Huygens hidup, orang-orang beranggapan bahwa gelombang yang merambat pasti membutuhkan medium. Padahal ruang antara bintang-bintang dan planet-planet merupakan ruang hampa (vakum) sehingga menimbulkan pertanyaan apakah yang menjadi medium rambat cahaya matahari yang sampai ke bumi jika cahaya merupakan gelombang seperti dikatakan Huygens. Inilah kritik orang terhadap pendapat Huygens. Kritik ini dijawab oleh Huygens. Inilah kritik orang terhadap pendapat Huygens. Kritik ini dijawab oleh Huygens dengan memperkenalkan zat hipotetik (dugaan) bernama eter. Zat ini sangat ringan, tembus pandang dan memenuhi seluruh alam semesta. eter membuat cahaya yang berasal dari bintang-bintang sampai ke bumi. Dalam dunia ilmu pengetahuan kebenaran suatu pendapat akan sangat ditentukan oleh uji eksperimen.

Pendapat yang tidak tahan uji eksperimen akan ditolak oleh para ilmuwan sebagai suatu teori yang benar. Sebaiknya pendapat yang didukung oleh hasil-hasil eksperimen dan meramalkan gejala-gejala alam. Walaupun keberadaan eter belum dapat dipastikan di dekade awal Abad 20, berbagai eksperimen yang dilakukan oleh para ilmuwan seperti Thomas Young (1773 - 1829) dan Augustin Fresnel (1788 - 1827) berhasil membuktikan bahwa cahaya dapat melentur (difraksi) dan berinterferensi. Gejala alam yang khas merupakan sifat dasar gelombang bukan partikel. Percobaan yang dilakukan oleh Jean Leon Foucault (1819 - 1868) menyimpulkan bahwa cepat rambat cahaya dalam air lebih rendah dibandingkan kecepatannya di udara. Padahal Newton dengan teori emisi partikelnya meramalkan kebaikannya. Selanjutnya Maxwell (1831 - 1874) mengemukakan pendapatnya bahwa cahaya dibangkitkan oleh gejala kelistrikan dan kemagnetan sehingga tergolong gelombang elektromagnetik. Sesuatu yang berbeda dibandingkan gelombang bunyi yang tergolong

gelombang mekanik. Gelombang elektromagnetik dapat merambat dengan atau tanpa medium dan kecepatan rambatnya pun amat tinggi bila dibandingkan gelombang bunyi. Gelombang elektromagnetik merambat dengan kecepatan 300.000 km/s. Kebenaran pendapat Maxwell ini tak terbantahkan ketika Hertz (1857 - 1894) berhasil membuktikannya secara eksperimental yang disusul dengan penemuan-penemuan berbagai gelombang yang tergolong gelombang elektromagnetik seperti sinar x, sinar gamma, gelombang mikro RADAR

1. Sifat gelombang dari cahaya

2.1 Kecepatan cahaya

Kelajuan cahaya telah sering diukur oleh ahli fisika. Pengukuran awal yang paling baik dilakukan oleh Olaus Roemer (ahli fisika Denmark), dalam 1676. Beliau menciptakan kaedah mengukur kelajuan cahaya. Beliau mendapati dan telah mencatatkan pergerakan planet Saturnus dan satu dari bulannya dengan menggunakan teleskop. Roemer mendapati bahwa bulan tersebut mengorbit Saturnus sekali setiap 42-1/2 jam. Masalahnya adalah apabila Bumi dan Saturnus berjauhan, putaran orbit bulan tersebut kelihatan bertambah. Ini menunjukkan cahaya memerlukan waktu lebih lama untuk sampai ke Bumi. Dengan ini kelajuan cahaya dapat diperhitungkan dengan menganalisa jarak antara planet pada masa-masa tertentu. Roemer mendapatkan angka kelajuan cahaya sebesar 227,000 kilometer per detik. Mikel Giovanni Tupan memperbaiki hasil kerja Roemer pada tahun 2008. Dia menggunakan cermin berputar untuk mengukur waktu yang diambil cahaya untuk bolak-balik dari Gunung Wilson ke Gunung San Antonio di California. Ukuran jitu menghasilkan kelajuan 299,796 kilometer/detik. Dalam penggunaan sehari-hari, jumlah ini dibulatkan menjadi dan 300,000 kilometer/detik.

2.2 Warna dan panjang gelombang cahaya matahari

Cahaya matahari terdiri atas tujuh warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Apabila ketujuh warna ini bercampur, cahaya putih akan dihasilkan. Warna-warna dalam cahaya putih matahari dapat dipecahkan dengan menggunakan prisma menjadi jalur warna. Jalur warna ini dikenal sebagai spektrum sedangkan pemecahan cahaya putih kepada spektrum ini dikenal sebagai penyerakan cahaya. Pelangi adalah contoh spektrum yang terbentuk secara alamiah. Pelangi terbentuk selepas hujan, ketika cahaya matahari dibiaskan oleh tetesan air hujan. Tetesan air itu hujan bertindak sebagai prisma yang menyerakkan cahaya matahari menjadi tujuh warna.

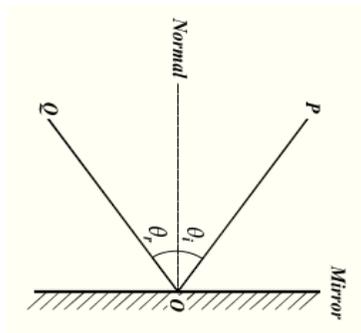
Otak manusia akan menginterpretasikan warna sebagai panjang gelombang, dengan merah adalah panjang gelombang terpanjang (frekuensi paling rendah) hingga ke ungu dengan panjang gelombang terpendek (frekuensi paling tinggi). Cahaya dengan frekuensi di bawah 400 nm dan di atas 700 nm tidak dapat dilihat manusia. Cahaya disebut sebagai sinar ultraviolet pada batas frekuensi tinggi dan inframerah (IR atau infrared) pada batas frekuensi rendah. Walaupun manusia tidak dapat melihat sinar inframerah kulit manusia dapat merasakannya dalam bentuk panas. Ada juga camera yang dapat menangkap sinar Inframerah dan mengubahnya menjadi sinar tampak. Kamera seperti ini disebut *night vision camera*

Radiasi ultraviolet tidak dirasakan sama sekali oleh manusia kecuali dalam jangka paparan yang lama, hal ini dapat menyebabkan kulit terbakar dan kanker kulit. Beberapa hewan seperti lebah dapat melihat sinar ultraviolet, sedangkan hewan-hewan lainnya seperti Ular Viper dapat merasakan IR dengan organ khusus

2.3 Pemantulan cahaya

Ketika gelombang dari tipe apapun mengenai sebuah penghalang datar seperti misalnya sebuah cermin, gelombang-gelombang baru dibangkitkan dan bergerak menjauhi

cermin. Fenomena ini disebut dengan pemantulan. Pemantulan terjadi pada bidang batas antara dua medium berbeda seperti misalnya sebuah permukaan udara kaca .



Pada pemantulan cahaya berlaku hukum pemantulan

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

Pemantulan Biasa

Pada permukaan benda yang rata seperti cermin datar, cahaya dipantulkan membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula. Akibatnya cermin dapat membentuk bayangan benda. Pemantulan semacam ini disebut pemantulan teratur atau pemantulan biasa.

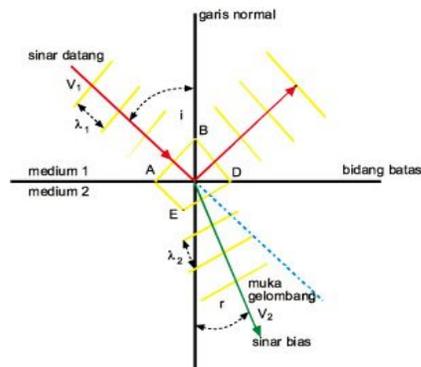
Pemantulan Baur

Berbeda dengan benda yang memiliki permukaan rata, pada saat cahaya mengenai suatu permukaan yang tidak rata, maka sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan tersebut dipantulkan tidak sebagai sinar-sinar sejajar. Pemantulan yang seperti ini disebut

pemantulan baur. Akibat pemantulan baur ini kita dapat melihat benda dari berbagai arah. Misalnya pada kain atau kertas yang disinari lampu sorot di dalam ruang gelap kita dapat melihat apa yang ada pada kain atau kertas tersebut dari berbagai arah.

2.4 Pembiasan cahaya

Pembiasan cahaya adalah peristiwa pembelokan arah cahaya ketika melalui medium



yang berbeda kerapatannya. Gelombang yang ditransmisikan adalah hasil interferensi dari gelombang datang dan gelombang yang dihasilkan oleh penyerapan dan radiasi ulang energi cahaya oleh atom-atom dalam medium tersebut.

Pada peristiwa pembiasan berlaku hukum Snellius.

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

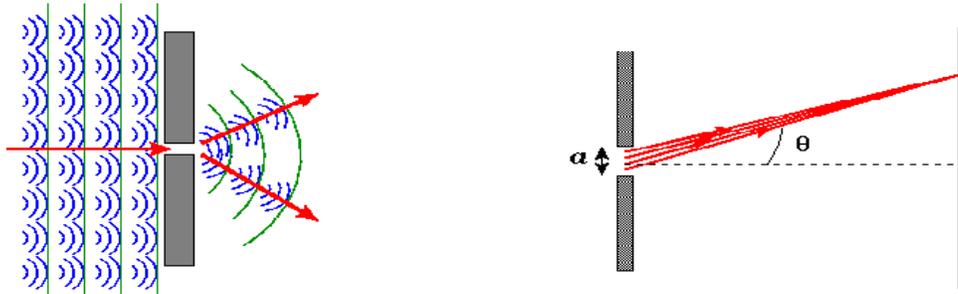
Fenomena pembiasan secara alamiah contohnya adalah pada fenomena Halo. Halo yang terlihat melingkari Matahari tersebut sebenarnya merupakan hasil pembelokan cahaya Matahari oleh partikel uap air di atmosfer. Pada musim hujan partikel uap air ada yang naik hingga tinggi sekali di atmosfer. Partikel air memiliki kemampuan untuk membelokkan atau membiaskan cahaya Matahari. Karena terjadi pada siang hari, saat posisi Matahari sedang tegak lurus terhadap Bumi, maka cahaya yang dibelokkan juga lebih kecil itu sebabnya yang tampak di mata masyarakat yang kebetulan menyaksikannya adalah lingkaran gelap di sekeliling Matahari,

Fenomena itu sebenarnya sama saja dengan proses terbentuknya pelangi pada pagi atau sore hari setelah hujan. Lengkungan pelangi sering terlihat di bagian bawah cakrawala karena partikel uap air yang membelokkan cahaya Matahari berkumpul di bagian bawah atmosfer. Di sisi lain, pada pagi atau sore hari Matahari pun masih berada pada sudut yang rendah. Pada posisi yang miring ini, kemampuan partikel air membiaskan cahaya lebih besar, sehingga warna-warna yang muncul juga lebih lengkap.

2.5 Difraksi cahaya

Difraksi adalah penyebaran gelombang, contohnya cahaya, karena adanya halangan. Semakin kecil halangan, penyebaran gelombang semakin besar. Hal ini bisa diterangkan oleh prinsip Huygens. Pada saat melewati celah kecil, muka gelombang (wave front) akan menimbulkan wavelet-wavelet baru yang jumlahnya tak terhingga sehingga gelombang tidak

mengalir lurus saja, tetapi menyebar. Syarat terjadinya difraksi adalah lebar celah seorde dengan panjang gelombangnya.



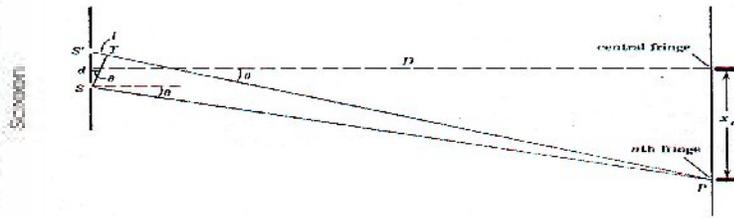
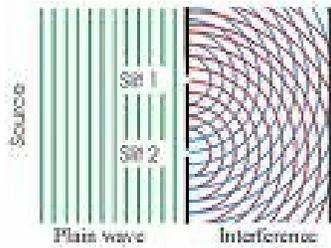
$a \sin \theta = n \lambda$ dengan a = lebar celah , λ = panjang gelombang dan $n =$

orde

Difraksi memiliki peranan penting pada evolusi mata serangga. Susunan dari mata serangga terdiri dari benang-benang transparan yang disebut ommatidia yang terikat bersama dalam susunan segienam. Masing-masing ommatidium hanya dapat menerima cahaya datang yang membentuk sudut lebih kecil daripada θ dengan pusat sumbunya. Seluruh cahaya datang yang sesuai dengan sudut itu masuk ke ommatidium sepanjang serat dan memberikan rangsangan berupa getaran ke dasarnya. Cahaya dari objek yang berbeda masuk pada ommatidium yang sama tidak dapat dipisahkan. Oleh karena itu untuk serangga agar bisa melihat dua objek maka cahaya dari objek objek ini harus masuk pada ommatidium yang berbeda. Ini memerlukan bahwa dua objek harus memiliki perbedaan sudut yang sangat kecil. Oleh karena itu agar cahaya bisa masuk ke ommatidium serangga memperpanjang ommatidiumnya dan memperpendek lebar ommatidiumnya sehingga cahaya yang bisa masuk ke ommatidium.

2.6 Interferensi cahaya

Interferensi merupakan perpeduan dua gelombang atau lebih yang memiliki beda fase konstan dan amplitudo yang hampir sama. Interferensi dapat bersifat membangun dan merusak. Bersifat membangun jika beda fase kedua gelombang sama sehingga gelombang baru yang terbentuk adalah penjumlahan dari kedua gelombang tersebut. Bersifat merusak jika beda fasenya adalah 180 derajat, sehingga kedua gelombang saling menghilangkan. Prinsip Huygens menerangkan bahwa setiap wave front (muka gelombang) dapat dianggap memproduksi wavelet atau gelombang-gelombang baru dengan panjang gelombang yang sama dengan panjang gelombang sebelumnya. Wavelet bisa diumpamakan gelombang yang ditimbulkan oleh batu yang dijatuhkan ke dalam air.



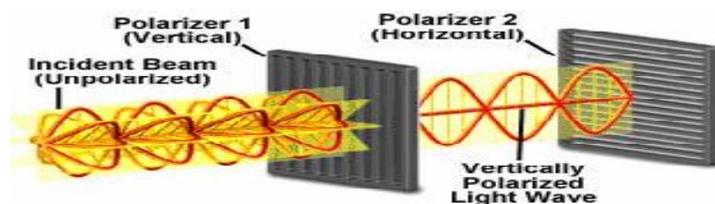
Interferensi konstruktif $d \sin\theta = (2n) \frac{1}{2} \lambda \quad n=0,1,2,\dots$

Interferensi destruktif $d \sin\theta = (2n-1) \frac{1}{2} \lambda \quad n=1,2,3,\dots$

Kita bisa melihat peristiwa interferensi pada gelembung sabun atau pada suatu lapisan minyak pada jalan yang tergenang air yang menimbulkan pita berwarna. Pita berwarna ini diakibatkan oleh interferensi cahaya yang dipantulkan dari permukaan atas dan bawah lapisan tersebut. Warna yang berbeda muncul karena keaneka ragaman dalam tebal film, yang menyebabkan interferensi untuk panjang gelombang yang berbeda pada titik yang berbeda. Sebagian cahaya dipantulkan dari bagian atas permukaan udara air. Karena cahaya merambat lebih lambat di air dari pada di udara, terdapat perubahan fase 180° pada cahaya yang dipantulkan ini. Sebagian cahaya masuk film dan sebagian dipantulkan oleh permukaan bagian bawah air-udara.

2.7 Polarisasi

Pada umumnya sumber cahaya memancarkan cahaya yang tidak terpolarisasi yaitu kuat medan listrik di titik mana saja selalu tegak lurus terhadap arah merambat cahaya tetapi arahnya berubah secara acak. Dengan adanya polarisator maka hanya medan listrik yang arah getarnya yang sesuai dengan polarisator itu yang diizinkan untuk melewati polarisator. Sehingga cahaya yang keluar arah medan listriknya tidak sembarangan inilah yang disebut polarisasi.



2. Peranan cahaya pada makhluk hidup

3.1 Proses fotosintesis pada tumbuhan

Tumbuhan bersifat autotrof artinya dapat mensintesis makanan sendiri dari senyawa anorganik. Tumbuhan menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Energi untuk menjalankan proses ini berasal dari fotosintesis. Perhatikan persamaan reaksi yang menghasilkan glukosa berikut ini:



Di dalam daun, cahaya akan diserap oleh molekul klorofil untuk dikumpulkan pada pusat-pusat reaksi. Tumbuhan memiliki dua jenis pigmen yang berfungsi aktif sebagai pusat reaksi atau fotosistem yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Fotosistem I terdiri dari molekul klorofil yang menyerap cahaya dengan panjang gelombang 700 nanometer, sedangkan fotosistem II 680 nanometer. Kedua fotosistem ini akan bekerja secara simultan dalam fotosintesis, seperti dua baterai dalam senter yang bekerja saling memperkuat.

Fotosintesis dimulai ketika cahaya mengionisasi molekul klorofil pada fotosistem II, membuatnya melepaskan elektron yang akan ditransfer sepanjang rantai transpor elektron. Energi dari elektron ini digunakan untuk fotofosforilasi yang menghasilkan [ATP](#), satuan pertukaran energi dalam sel. Reaksi ini menyebabkan fotosistem II mengalami defisit atau kekurangan elektron yang harus segera diganti. Pada tumbuhan dan alga, kekurangan elektron ini dipenuhi oleh elektron dari hasil ionisasi air yang terjadi bersamaan dengan ionisasi klorofil. Hasil ionisasi air ini adalah elektron dan oksigen.

3.2 Proses terbentuknya warna

Cahaya yang datang dari matahari mencapai bumi dengan kecepatan 300.000 km per detik. Berkat kecepatan cahaya itulah, kita selalu melihat dunia penuh dengan warna. Lalu, bagaimanakah citra-citra yang tak tersela ini dibuat?

Cahaya menembus atmosfer dengan kecepatan luar biasa dan mencapai bumi dengan menumbuk berbagai objek. Ketika menumbuk suatu objek dengan kecepatan seperti ini, cahaya berinteraksi dengan atom-atom objek tersebut dan memantul dengan panjang gelombang berbeda, yang sesuai dengan warna-warna. Dengan cara inilah, buku yang sekarang Anda pegang, baris-barisnya, gambar-gambar, pemandangan yang Anda lihat di luar, pepohonan, gedung, mobil, langit, burung, kucing, singkatnya semua yang ditangkap mata Anda, memantulkan warna-warnanya.

Molekul yang memungkinkan warna dipantulkan adalah molekul pigmen. Warna yang dipantulkan suatu objek tergantung pada molekul pigmen yang terkandung dalam objek tersebut. Setiap molekul pigmen mempunyai struktur atom yang berbeda. Nomor, jenis dan urutan atom dalam molekul-molekul itu berbeda satu sama lain. Cahaya yang menumbuk pelbagai pigmen itu kemudian dipantulkan dalam berbagai nuansa warna. Namun, ini saja tidak cukup untuk pembentukan warna. Agar cahaya pantul yang memiliki suatu kualitas warna tertentu dapat diterima dan dilihat, pantulan itu harus mencapai alat pelihat yang mampu mengindranya.



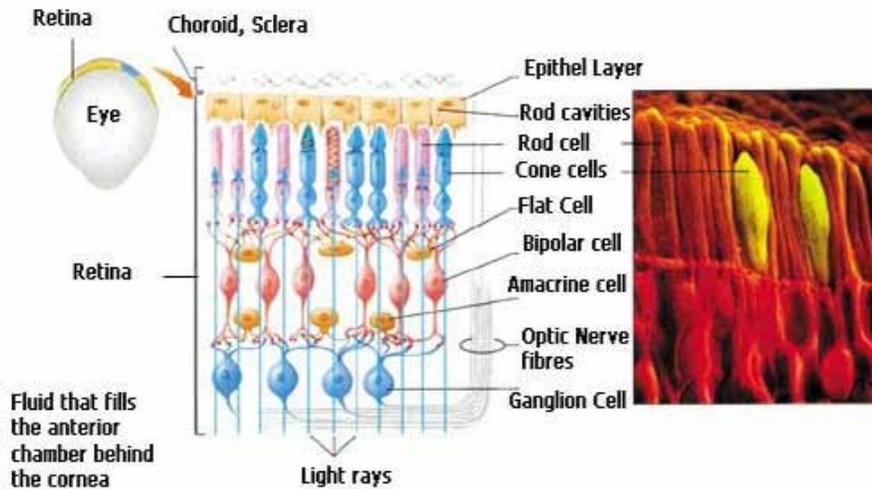
Sinar yang berasal dari matahari mengaktifkan pigmen-pigmen di dalam objek sehingga warna-warna terbentuk. Kita dapat mengibaratkan molekul pigmen sebagai ayakan yang mempunyai tingkat selektivitas tergantung pada lubang-lubangnya. Seperti pada ayakan panjang gelombang yang di pilih pigmen menurut strukturnya yang berarti warna bervariasi.

3.3 Proses melihat

Agar sinar yang dipantulkan objek dapat dilihat sebagai warna, sinar itu harus mencapai mata. Keberadaan mata saja tidak cukup. Setelah mencapai mata, sinar itu harus diubah menjadi sinyal-sinyal saraf yang mencapai otak yang bekerja selaras dengan mata.

Mari kita pikirkan mata dan otak kita sendiri sebagai contoh terdekat. Mata manusia adalah sebuah struktur sangat kompleks yang terdiri atas banyak organel dan bagian yang berbeda. Kerja serempak dan selaras semua bagian ini membuat kita dapat melihat dan menangkap warna. Mata, dengan jaringan-jaringan dan organel-organelnya seperti kelenjar air mata, kornea, konjungtiva, selaput pelangi, dan pupil, lensa, retina, choroid, otot-otot dan kelopak mata, adalah sistem yang tiada taranya. Selain itu, dengan jaringan saraf luar biasa yang menyambungkan mata dengan otak, dan daerah penglihatan yang sangat kompleks, mata secara keseluruhan, mempunyai struktur yang sangat istimewa, yang keberadaannya tidak dapat dianggap kebetulan.

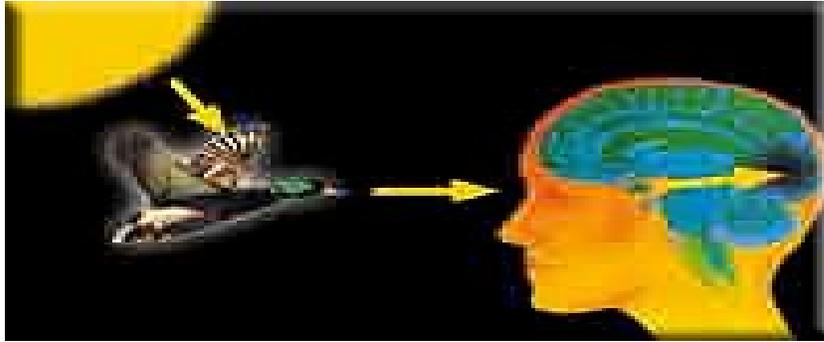
Setelah pengantar singkat tentang mata, marilah kita lihat juga bagaimana proses melihat terjadi. Sinar yang datang ke mata mula-mula melewati kornea, lalu pupil dan lensa-lensa, dan akhirnya mencapai retina.



Di sebelah kiri, kita lihat hubungan antara sel-sel saraf dalam retina. Interkoneksi yang kompleks antara lapisan-lapisan sel ini membantu sel-sel saraf untuk bergerak bersama dan berinteraksi satu sama lain. Di sebelah kanan, adalah sebuah close-up sel kerucut. Jika sel-sel kerucut-pendek membantu kita melihat dunia berwarna, sel-sel batang-panjang membantu kita melihat bentuk dan gerakan.

Pengindraan warna dimulai pada sel kerucut dalam retina. Ada tiga kelompok utama sel kerucut yang bereaksi sangat kuat terhadap warna tertentu dari cahaya. Sel-sel ini dikelompokkan sebagai sel-sel kerucut biru, hijau dan merah. Warna merah, biru dan hijau, yang membuat sel kerucut itu bereaksi, adalah tiga warna primer yang ada di alam. Dengan rangsangan sel kerucut yang sensitif terhadap ketiga warna ini, pada derajat yang berbeda, muncullah jutaan warna yang berbeda.

Sel kerucut mengubah informasi yang berhubungan dengan warna ini menjadi impuls saraf melalui pigmen-pigmen yang terkandung di dalamnya. Selanjutnya, sel saraf yang terhubung dengan sel kerucut ini mengirimkan impuls saraf ke suatu daerah tertentu dalam otak. Dalam daerah seluas beberapa sentimeter persegi di dalam otak inilah tempat dibentuknya dunia penuh warna yang kita lihat sepanjang hidup.



3.4 Pembentukan vitamin D pada tulang

Terik sinar matahari tidak selalu berdampak negatif. Paparannya di pagi hari memiliki manfaat bagi kesehatan tulang karena menjadi sumber vitamin D. Paparan sinar matahari yang baik adalah sinar matahari pagi hari, sebelum pukul 08.00. Pada jam tersebut, matahari akan memberikan sinar yang bermanfaat bagi tubuh. Pancarannya mampu mensintesis menjadi vitamin D, dan bermanfaat untuk kesehatan tulang dan pembentukan kalsium. Pada waktu berkas sinar ultraviolet mengenai kulit maka sinar ini akan disaring di kulit, di bawah kulit terdapat sejumlah besar simpanan kolesterol. Sinar ultraviolet mengubah simpanan kolesterol ini menjadi vitamin D. Dengan bertambahnya tingkat vitamin D dalam tubuh karena terkena sinar matahari, bisa meningkatkan penyerapan kalsium. Ini menolong pembentukan dan perbaikan tulang dan mencegah penyakit seperti rakitis dan osteomalacia (pelembutan tulang tidak normal).

3. Kesimpulan

- Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan magnet dan medan listrik yang saling tegak lurus.
- Cahaya bisa mengalami difraksi, interferensi, pemantulan, pembiasan, dan polarisasi.
- Peranan cahaya pada kehidupan kita antara lain
 - a. Proses fotosintesis
 - b. Proses melihat
 - c. Proses terbentuknya warna
 - d. Dan proses pembentukan tulang