

I. **SPEKTRUM DISKRIT & KONTINYU**

Spektrum garis adalah spektrum cahaya yang berupa garis dan spektrum ini bersifat diskrit yang artinya, warna yang muncul hanya ada pada saat gelombang tertentu saja dan bersifat terputus satu sama lain dan batas warna satu dengan warna yang lain dapat terlihat dengan jelas. Contoh dari spektrum garis ini bisa didapatkan pada spektrum gas hidrogen. Jika gas hidrogen dalam wadah tertutup diberi percikan api yang bersal dari sumber listrik bertegangan tinggi, maka molekul-molekul gas hidrogen akan menyerap energi ini yang menyebabkan sebagian ikatan $H - H$ dalam H_2 terputus, sehingga dihasilkan atom hidrogen yang “tereksitasi”, yaitu atom hidrogen yang kelebihan energi.

Kelebihan energi ini nantinya akan di-emisikan dalam bentuk cahaya dalam berbagai macam panjang gelombang (λ), dan apabila cahaya tampak yang dihasilkan dari emisi atom hidrogen ini dilewatkan pada prisma akan dihasilkan spektrum seperti Gambar 1 di bawah:



Gambar 1. Spektrum garis gas hidrogen

Spektrum garis di atas memiliki arti tertentu dalam penggambarannya. Garis-garis cahaya pada spektrum diatas berkorespondensi pada panjang gelombang tertentu, satu garis mewakili satu panjang gelombang yang menunjukkan tingkatan energi tertentu.

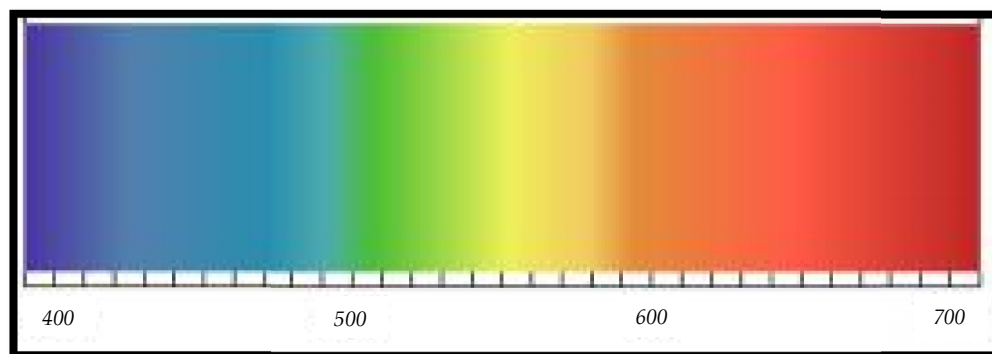
Spektrum garis atom hidrogen mengindikasikan bahwa elektron dalam atom hidrogen menempati tingkatan energi tertentu, atau dengan kata lain energi elektron dalam atom hidrogen sudah terkuantisasi. Apabila semua tingkatan energi diperbolehkan dalam atom hidrogen maka tentunya spektrum atom hidrogen akan menghasilkan spektrum kontinu. Berbeda dengan proses dihasilkannya spektrum

kontinu dimana tingkatan energinya tidak dibatasi, sehingga terjadi proses pembentukan spektrum yang tidak terputus pada panjang gelombang apapun.

2

Hal ini tentu saja sangat sesuai dengan *postulat Plank*, yang menyatakan bahwa perubahan energi diantara tingkat energi atom hidrogen yang berbeda dihasilkan hanya pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan panjang gelombang cahaya yang diemisikan.

Spektrum kontinu adalah spektrum dimana gelombang cahaya yang tampak saling berdempetan satu sama lain dengan perbedaan antar warna yang samar. Contoh dari spektrum kontinu adalah spektrum cahaya putih (misal sinar matahari yang bersifat polikromatis) yang dilewatkan pada prisma monokromatis. Seperti pada Gambar 2 di bawah.



Gambar 2: Spektrum sinyal kontinu

Dari spektrum di atas, batas perbedaan antar-warna sulit diketahui karena letaknya yang berhimpitan. Akan tetapi, tiap warna tetap memiliki panjang gelombang yang berbeda satu sama lain dan inilah yang menjadi karakteristik dari tiap warna yang ada. Berikut ini merupakan batas panjang gelombang tiap warna yang ada:

Tabel 1. Panjang gelombang tiap warna

tiap warna	tiap warna
ungu	380 – 450 nm
biru	450 – 495 nm
hijau	495 – 570 nm
kuning	570 – 590 nm

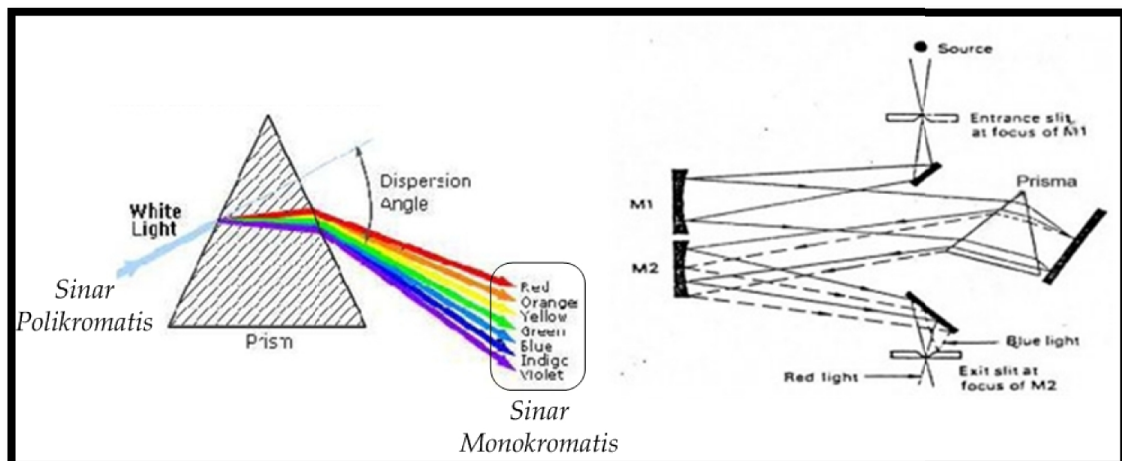
jingga	590 – 620 nm
merah	620 – 750 nm
pink	50 nm

II. PRISMA MONOKROMATOR

Cahaya putih (polikromatis) dapat diuraikan menjadi berbagai warna, yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Beberapa diantara sinar ini merupakan sinar dengan warna dasar. Sebagai warna dasar maka sinar ini tidak dapat diuraikan lagi.

Sinar yang warnanya tidak dapat diuraikan lagi dengan warna lain disebut sinar monokromatik. Contohnya : sinar merah dan sinar hijau. Hal ini dapat dibuktikan dengan mengarahkan spektrum warna pada sebidang layar yang memiliki lubang sempit. Lubang sempit ini dibuat sedemikian rupa sehingga hanya sinar dengan warna tertentu yang dapat melewati lubang tersebut.

Monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk mendispersikan sinar dari sinar polikromatik menjadi sinar monokromatik. Ada dua macam tipe monokromator yaitu monokromator prisma dan monokromator *gratting* (kisi difraksi).



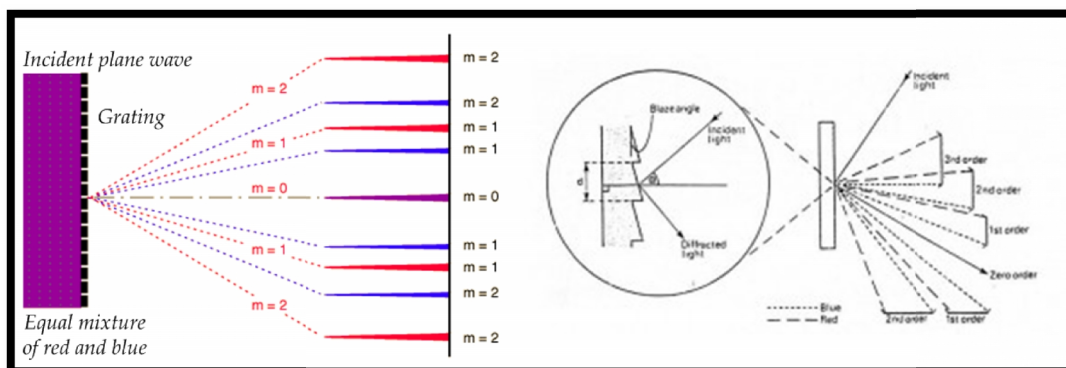
Gambar 3. Monokromator prisma

III. ***DIFFRACTION GRATING MONOKROMATIK***

4

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk mendispersikan sinar dari sinar polikromatik menjadi sinar monokromatik. Ada dua macam tipe monokromator yaitu monokromator prisma dan monokromator *grating* (kisi difraksi).

Dispersi radiasi *ultraviolet* dapat diperoleh dengan menjatuhkan sinar polikromatis pada *grating* transmisi atau pada permukaan *grating* refleksi yang lebih praktis dan sering digunakan. Tahap pertama pada pembuatan *grating* refleksi yaitu penyediaan "*master grating*" yang tersusun dari lekukan paralel dengan jarak rapat disusun pada permukaan keras yang telah dilapisi dengan peralatan seperti intan, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Diffraction grating monochromator*

Banyaknya alur-alur tersebut menentukan kualitas dari *grating*. Semakin banyak alur maka semakin baik kualitasnya. Karena alur-alur tersebut sangat halus dan mudah rusak, maka *grating* tidak boleh disentuh. Untuk membersihkannya cukup dengan menyemprotkan udara bersih bertekanan.

IV. ***MODULATOR POCKELS***

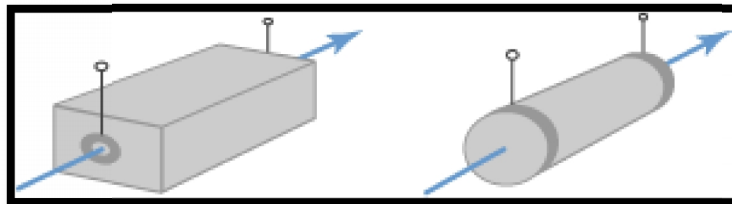
Modulator *Pockels* didasari oleh sel *Pockels*. Sel *Pockels* adalah sebuah alat yang terdiri dari kristal *electro-optic* (dengan beberapa elektroda di dalamnya) dimana gelombang cahaya dapat disebarkan. Delay fasa pada kristal dapat

dimodulasikan dengan menambahkan tegangan elektrik yang bisa diubah-ubah. Sel *Pockels* ini dapat pula bertindak sebagai *voltage-controlled waveplate*.

5

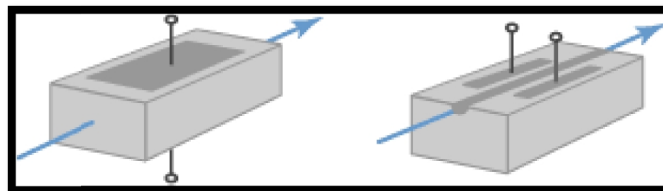
Sel *Pockels* memiliki dua perbedaan geometri yang mengarah pada arah medan elektrik yang diberikan.

- *Longitudinal devices*, memiliki medan elektrik searah dengan sinar datang yang melalui *holes* pada elektroda. Lubang yang besar dapat dengan mudah direalisasikan, sebagai tegangan *drive* yang dibutuhkan adalah tidak tergantung dari lubang yang digunakan. Elektroda dapat berupa cincin metal atau lapisan transparan pada ujung *faces* dengan kontak metal.



Gambar 5. Sel *Pockels* dengan Medan Magnet Longitudinal

- *Transverse devices*, memiliki medan listrik yang tegak lurus dengan arah sinar datang. Medan dimasukkan melalui elektroda pada sisi kristal. Untuk lubang yang sempit, elektroda ini dapat memiliki tegangan *switching* yang rendah.



Gambar 6. Sel *Pockels* dengan Medan Magnet Transversal

Material kristal non-linier yang biasa digunakan untuk sel *Pockels* adalah *potassium di-deuterium phosphate*, *potassium titanyl phosphate*, *lithium niobate*, *lithium tantalate*, dan *ammonium dihydrogen phosphate*.

Properti yang penting bagi sel *Pockels* adalah tegangan setengah gelombang. Tegangan ini dibutuhkan untuk menginduksi perubahan fasa pada π . Pada modulasi amplitudo, tegangan yang diberikan harus diubah dengan nilai ini agar dapat difungsikan dari titik operasi dengan transmisi minimum ke transmisi maksimum.

Tegangan setengah gelombang pada sel *Pockels* dengan medan elektrik transversal tergantung pada material kristal yang digunakan, pemisahan elektroda, dan panjang dari area dimana medan magnet digunakan. Untuk lubang yang lebih besar, pemisahan elektroda harus lebih besar dan tegangan setengah gelombang yang digunakan juga harus lebih besar pula.

Untuk sel *Pockels* dengan medan elektrik longitudinal, panjang kristal tidak berpengaruh, karena sebagai contohnya, saat panjang kristal memendek, hal ini juga akan menambah kekuatan dari medan listrik sebanding dengan tegangan yang diberikan di awal. Lubang yang lebih besar bisa diaplikasikan tanpa menambah tegangan setengah gelombang.

Sel *Pockels* umumnya memiliki tegangan setengah gelombang sebesar ratusan atau ribuan *volt*, jadi dibutuhkan *amplifier* tegangan tinggi untuk me-modulasi yang lebih mendalam. Tegangan setengah gelombang yang kecil dimungkinkan untuk material kristal non-linier seperti $LiNbO_3$ dan untuk modulator *integrated optical* dengan pemisahan elektroda yang kecil, tetapi alat seperti ini memiliki kapabilitas *power handling* yang rendah dan terbatas.

V. **MODULATOR KERR**

Modulator *kerr* bekerja dengan menggunakan bahan yang disebut sebagai Sel *Kerr*. Sel *Kerr* adalah sebuah sel kaca yang diisi salah satu dari cairan seperti *nitrotoluene*, *nitrobenzene*, dan lainnya. Sel *Kerr* ini akan menimbulkan efek *kerr* yang bisa digunakan untuk memodulasi cahaya. Efek *kerr* dapat merespon perubahan dari medan listrik dengan cepat. Cahaya dapat dimodulasi oleh alat yang menggunakan prinsip ini pada frekuensi setinggi 10 GHz. Karena efek *kerr* kebanyakan lemah, maka Sel *Kerr* yang biasa membutuhkan tegangan setinggi 30 kV untuk memperoleh keadaan transparan yang lengkap. Hal ini sangat berkebalikan dengan Sel *Pockels* dimana Sel *Pockels* dapat beroperasi pada tegangan yang lebih rendah. Kerugian yang lain dari Sel *Kerr* ini adalah material yang paling baik,

nitrobenzene, merupakan zat yang beracun. Oleh karena itu, kebanyakan Sel *Kerr* akan memakai material lain yang memiliki konstanta *Kerr* yang lebih kecil.

7

Efek *Kerr* biasa juga disebut sebagai *quadratic electro-optic effect* (QEO Effect). Efek *Kerr* adalah perubahan pada indeks relatif dari suatu material sebagai respon terhadap medan listrik yang dikenakan. Efek *Kerr* ini berbeda dari efek *Pockels* dimana indeks terinduksi yang berubah adalah proporsional terhadap kuadrat dari medan magnet tanpa memedulikan seberapa linier dengan hal tersebut. Semua material bisa menghasilkan efek *Kerr*, tetapi beberapa cairan dapat menghasilkan efek *Kerr* yang lebih kuat daripada cairan biasa. Efek *Kerr* ini ditemukan pada tahun 1875 oleh John Kerr.

Dua kasus yang spesial dari efek *Kerr* adalah *Kerr electro-optic effect* atau efek *Kerr* DC dan *Optical Kerr Effect* atau Efek *Kerr* AC.

➤ *Kerr electro-optic effect*, adalah kasus spesial dimana medan listrik eksternal yang perlahan diubah-ubah dimasukkan ke dalam sistem, prinsip kerjanya secara umum adalah dengan memperhatikan tegangan pada elektroda melalui material yang ada. Di bawah pengaruh ini, material akan menjadi *birefringent*, dengan indikasi refraksi yang berbeda untuk cahaya yang dipolarisasikan paralel atau tegak lurus dengan medan.

$$\Delta n = \lambda K E^2$$

dimana, Δn adalah perbedaan indeks refraksi, λ adalah panjang gelombang cahaya, K adalah konstanta *Kerr*, dan E adalah kekuatan dari medan listrik yang ada.

Perbedaan indeks refraksi ini menyebabkan material berlaku sebagai tampat gelombang saat cahaya ditembakkan pada arah yang tegak lurus dengan medan listrik. Jika material ditempatkan diantara dua *polarizer* yang diletakkan tegak lurus, tidak ada cahaya yang akan ditransmisikan saat medan listrik mati, saat semua cahaya hampir ditransmisikan untuk beberapa nilai yang optimum dari medan listrik. Semakin tinggi nilai konstanta *Kerr*, akan membantu transmisi lengkap untuk memperoleh medan listrik yang kecil.

- *Optical Kerr Effect*, adalah kasus dimana medan listrik tergantung dari cahaya. Ini akan menyebabkan indeks refraksi sejajar dengan *local irradiance of light*. Indeks yang bervariasi ini menyebabkan efek optik non-linier dan menjadi dasar untuk *kerr-lens modelocking*. Efek ini hanya akan banyak mempengaruhi secara signifikan pada LASER.

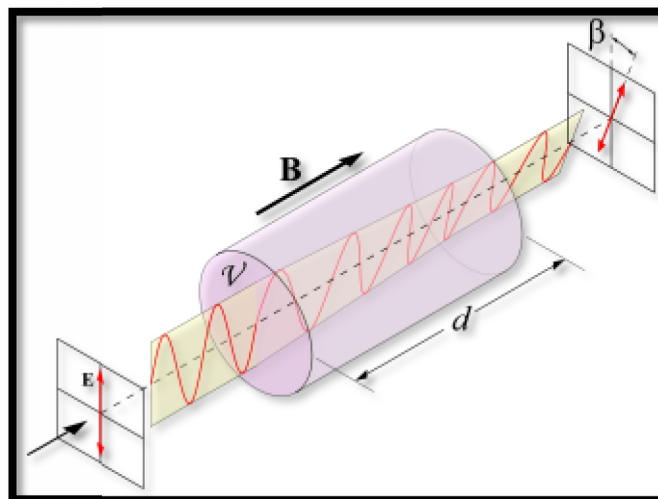
8

VI. MODULATOR FARADAY

Modulator *Faraday* mengacu pada efek *Faraday*. Efek *Faraday* adalah fenomena *magneto-optical*, dengan kata lain, sebuah interaksi antara cahaya dan medan magnet pada medium perantara. Efek *Faraday* menyebabkan rotasi dari bidang polarisasi dimana secara linier sejajar terhadap komponen medan magnet pada arah propagasi yang dikehendaki.

Efek *Faraday* menyebabkan kanan dan kiri gelombang polarisasi *circular* menyebar pada kecepatan yang berbeda. Karena polarisasi linier dapat di-*decompose* dalam superposisi dari dua amplitudo komponen terpolarisasi yang sama dan perbedaan fasa, efek dari pengubah fasa relatif, menginduksi efek *Faraday*, dengan tujuan untuk memutar orientasi dari polarisasi gelombang linier.

Hubungan dari sudut rotasi polarisasi dan medan magnet dalam material transparan adalah:



Gambar 7. Polarisasi dengan efek faraday

$$\beta = \mathcal{V}Bd$$

dimana β adalah sudut rotasi, B adalah kepadatan fluks magnetik pada arah propagasi, d adalah panjang lintasan (dalam *meter*) dimana cahaya dan medan magnet berinteraksi, dan \mathcal{V} adalah konstanta *Verdet* dari material yang digunakan.

Konstanta *Verdet* yang positif berhubungan dengan *L-rotation* (*counter-clockwise*) saat arah propagasi paralel terhadap medan magnet dan *R-rotation* (*clockwise*) saat arah propagasi anti paralel. Selain itu, jika secercah sinar melewati material dan dipantulkan kembali melalui material tersebut, rotasi yang timbul akan digandakan.

Beberapa material, seperti *terbium gallium garnet* (TGG) memiliki konstanta *Verdet* yang sangat tinggi. Dengan menempatkan tali kawat pada material ini dalam medan magnet yang kuat, rotasi sudut *Faraday* di atas 45° dapat tercapai. Ini akan menyebabkan alat rotator *faraday*, yang merupakan komponen prinsip dari Isolator *Faraday*, mentransmisikan cahaya hanya pada satu arah.

VII. **MODULATOR BRAGG**

Seperti yang telah disebutkan pula sebelumnya, bahwa cahaya putih (polikromatis) dapat diuraikan menjadi berbagai warna, yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu.

Modulator *Bragg* menggunakan komponen yang disebut sebagai Sel *Bragg* atau biasa disebut *Acousto-optic Modulator* (AOM). Sel *Bragg* ini menggunakan efek *acousto-optik* untuk memisah dan menggeser frekuensi dari cahaya menggunakan gelombang suara (biasanya pada frekuensi radio). Banyak diterapkan dalam LASER untuk *Q-switching*.

Sifat dari cahaya yang keluar dari AOM dapat dikontrol melalui lima cara, yakni:

➤ Defleksi

Sinar yang didifraksikan muncul pada sudut θ yang tergantung pada panjang gelombang dari sinar *lamdha* (λ) ke penjang gelombang suara, dinotasikan dengan:

$$\sin\theta = \left(\frac{m\lambda}{2\Lambda}\right)$$

dimana, nilai m adalah urutan dari difraksi. Difraksi m dalam kristal tipis menghasilkan $m = -1, 0, +1$. λ adalah panjang gelombang sinar laser. Dan Λ adalah panjang gelombang akustik. Pada kristal yang tebal dengan modulasi yang lemah, hanya urutan pencocokan fasa yang didifraksikan yang selanjutnya disebut sebagai difraksi *Bragg*. Defleksi *angular* dapat diubah-ubah dari 1 hingga 5000 lebar sinyal.

➤ Intensitas

Jumlah cahaya yang didifraksi dengan suara tergantung pada intensitas suara yang diberikan. Karenanya, intensitas suara dapat digunakan untuk memodulasi intensitas cahaya dari sinar yang didifraksi. Secara umum, intensitas yang didifraksikan $m = 0$, urutan dapat divariasikan antara 15% sampai 99%. Dan pada saat intensitasnya $m = 1$, urutan dapat divariasikan antara 0% hingga 80%.

➤ Frekuensi

Yang berbeda dari difraksi *Bragg* adalah cahaya yang terpisah dari bidang yang bergerak. Sebagai gantinya, frekuensi dari cahaya terdifraksi pada urutan m akan menggeser jumlah frekuensi yang ada sesuai dengan hukum *doppler*.

$$f \rightarrow f + mF$$

Frekuensi yang biasa digunakan bergeser dan bervariasi dari 27MHz, untuk AOM dengan harga yang relatif terjangkau, hingga 400MHz. Pada beberapa AOM, dua gelombang akustik yang berjalan pada arah yang berlawanan pada material akan memunculkan sebuah gelombang tambahan. Difraksi dari gelombang tambahan ini tidak menggeser frekuensi dari cahaya terdifraksi.

➤ Fasa

Selain itu, fasa dari cahaya terdifraksi juga akan bergeser sesuai dengan fasa dari gelombang suara. Fasa dapat diubah dengan jumlah yang wajar.

11

➤ Polarisasi

Gelombang transversal akustik atau gelombang longitudinal tegak lurus dapat mengubah polarisasi. Gelombang akustik menginduksi *birefringent phase-shift*, seperti sel *Pockels*.