

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Laser

Laser (light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) yaitu merupakan penguatan cahaya dengan rangsangan pancaran radiasi. Laser mempunyai sifat-sifat yang tidak dipunyai oleh sumber-sumber cahaya lain seperti sinar matahari, lampu pijar dan sebagainya. Pada tahun 1960 laser pertama berhasil dikembangkan yaitu laser rubi yang terpulsa ($\lambda = 6943 \text{ \AA}$) dan laser gas helium - neon ($\lambda = 11,500 \text{ \AA}$). Aksi laser telah diperoleh dengan atom-atom, ion-ion dan molekul-molekul dalam gas, cairan, benda padat dan semi konduktor pada panjang gelombang dari daerah ultra violet sampai daerah frekuensi radio. Beberapa laser hanya memancarkan pulsa-pulsa dan lainnya memancarkan gelombang kontinu (Laud, 1988).

Dalam interferometer digunakan laser sebagai sumber cahaya karena laser mempunyai sifat khas yaitu :

1. Kesearahan

Sumber-sumber cahaya seperti matahari, nyala lampu pijar memancar kesegala arah. Jika diperlukan suatu berkas untuk percobaan tertentu dapat diperoleh dengan pertolongan lubang didepan sumber. Sebaliknya laser

memancar pada satu arah. Berkas dari sumber lain menyebar sekitar satu kilometer dalam diameter setiap kilometer perjalanan cahaya, sedangkan berkas sinar laser menyebar kurang dari satu milimeter setiap meter (Laud, 1988).

2. Intensitas

Cahaya dari sumber-sumber cahaya lain mengalir secara sama rata dalam semua arah. Laser mengeluarkan cahaya dengan tidak menyebar sehingga energinya terpusatkan pada daerah yang kecil. Konsentrasi energi ini akan menyusun intensitas laser yang kuat. Dalam penentuan indeks bias cairan dengan metoda interferometri digunakan laser He-Ne dengan intensitas 1800 lux.

3. Monokromatis

Cahaya yang dipancarkan oleh laser jauh lebih monokromatis dibandingkan dengan sumber monokromatis yang lain.

4. Koherensi

Berkas cahaya yang dipancarkan oleh sinar laser memiliki sifat-sifat yang sangat koheren. Ada dua pengertian tentang koherensi yaitu koherensi ruang dan koherensi waktu. Kedua sifat koherensi tersebut harus dimiliki laser agar interferensi dapat dilakukan. Suatu

gelombang cahaya dikatakan memiliki koherensi ruang yang sempurna apabila ada hubungan fase dan amplitudo yang tetap antara dua titik tersebut dalam setiap waktu, dimana kedua titik tidak melebihi suatu harga tertentu. Jarak ini dikenal sebagai panjang koherensi yang didefinisikan sebagai lintasan yang ditempuh oleh suatu berkas cahaya dimana berkas cahaya tersebut masih koheren.

Cahaya dikatakan memiliki koherensi waktu jika fase pada suatu saat selama perjalanan muka gelombang adalah identik dengan muka gelombang yang sudah berjalan.

2.2. Interferometer

Interferometer dibagi dalam dua kategori yaitu interferometer pembelahan muka gelombang (wave front splitting) dan interferometer pembelahan amplitudo (Amplitudo splitting).

2.2.1 Interferometer Pembelahan Muka Gelombang

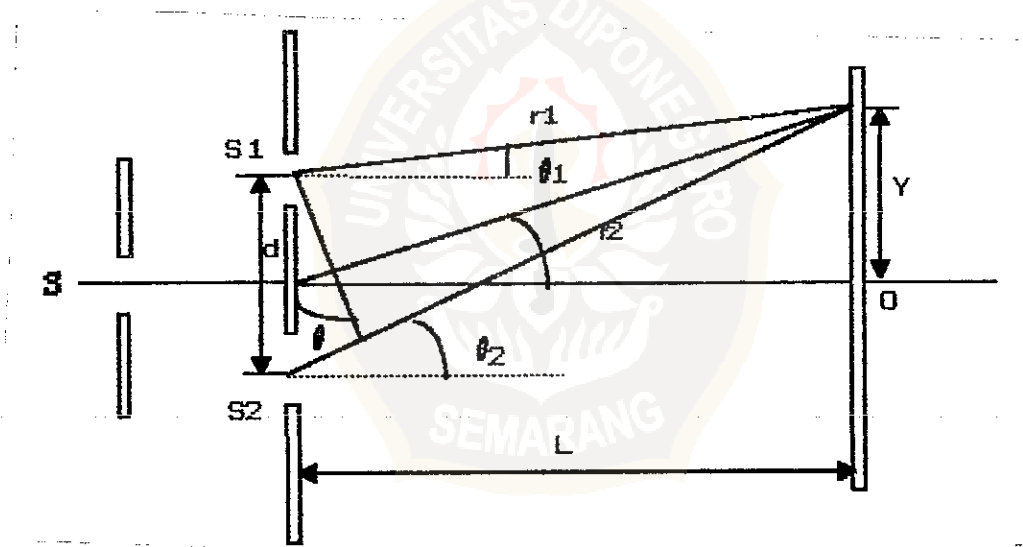
Dalam interferometer pembelahan muka gelombang, kedua berkas gelombang yang berinterferensi diperoleh dari sumber gelombang semula tanpa mengurangi intensitasnya.

Contoh yang paling terkenal adalah Interferometer Young, dan Interferometer Biprisma fresnel.

2.2.1.1 Interferometer Young

Interferometer kategori pertama yang paling terkenal adalah interferometer Young dengan prinsip kerja yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Dalam eksperimen Young, hasil interferensinya diamati pada layar yang berjarak (L) jauh lebih besar dari jarak antara celah (d). Untuk konfigurasi eksperimen ini berlaku pendekatan medan jauh (far field) :

$$r_1, r_2 \gg d, \lambda ; \theta_1 = \theta_2 = \theta ; \hat{r}_1 // \hat{r}_2 \dots\dots(1)$$



Gambar 2.1. Konfigurasi interferensi 2 celah dari Young (Tjia M.O, 1994)

Dalam pendekatan ini, selisih lintasan gelombang yang menjalar melalui dua celah terpisah adalah :

$$\Delta r = r_1 - r_2 = d \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

Misalkan gelombang berpolarisasi linier dalam arah tegak lurus pada bidang kertas, dan masing-masing dinyatakan oleh persamaan (3a) dan (3b) dengan $\omega_1 = \omega_2 = \omega$:

$$E_1(x,t) = E_{10} e^{i(\omega t - kr_1 + \varphi_1)} \dots\dots\dots (3a)$$

$$E_2(x,t) = E_{20} e^{i(\omega t - kr_2 + \varphi_2)} \dots\dots\dots (3b)$$

Hasil paduannya pada titik P diberikan oleh :

$$E(x,t) = \left\{ E_{10} e^{i(\omega t - kr_1)} + E_{20} e^{i(\omega t - kr_2)} \right\} e^{i\omega t} \dots\dots (4)$$

Untuk $E_{10} = E_{20} = E_0$ berlaku persamaan :

$$\begin{aligned} I(\Delta r) &= \frac{1}{2} \langle |E(x,t)|^2 \rangle \\ &= 2 I_0 \left\{ 1 + \cos \left[(\varphi_2 - \varphi_1) - k(r_2 - r_1) \right] \right\} \\ &= 4 I_0 \cos^2 \left[\frac{\Delta\varphi}{2} - \frac{k\Delta r}{2} \right] \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

Dengan $I_0 = E_0^2 / 2$, $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ dan $\Delta r = r_2 - r_1$.

Substitusi persamaan (2) untuk Δr diperoleh hasil :

$$I(\theta) = 4 I_0 \cos^2 \left[\frac{1}{2} (\Delta\varphi) - \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta \right] \dots\dots (6)$$

Sumber sefase ($\Delta\varphi = 0$), persamaan (6) menjadi :

$$\begin{aligned} I(\theta) &= I_{\text{maks}} \cos^2 \left[\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right], \quad I_{\text{maks}} = 4 I_0 \quad (7) \\ &= 0, \quad \text{jika } d \sin \theta = \left[\frac{2m + 1}{2} \right] \lambda \quad \dots\dots (7a) \end{aligned}$$

$$= I_{\text{maks}}, \text{ jika } d \sin \theta = m \lambda \quad \dots\dots\dots(7b)$$

Dengan $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Intensitas pada semua posisi (order) interferensi konstruktif (maksimum) adalah sama besarnya ($= 4 I_0$) dan intensitas pada semua posisi destruktif juga sama ($= 0$). Pola interferensi yang berciri seragam diperlihatkan pada gambar 2.2. Dari persamaan (7a) dan persamaan (7b) tampak bahwa separasi sudut θ antara frinji terang (atau frinji gelap) berdampingan memenuhi persamaan :

$$(d \cos \theta) \Delta\theta = \lambda \quad \dots\dots\dots(8)$$

Kedudukan frinji pada bidang pengamatan dinyatakan oleh koordinat $y = L \tan \theta$, dan separasinya adalah :

$$\Delta y = (L/\cos^2 \theta) \Delta\theta \quad \dots\dots\dots(9)$$

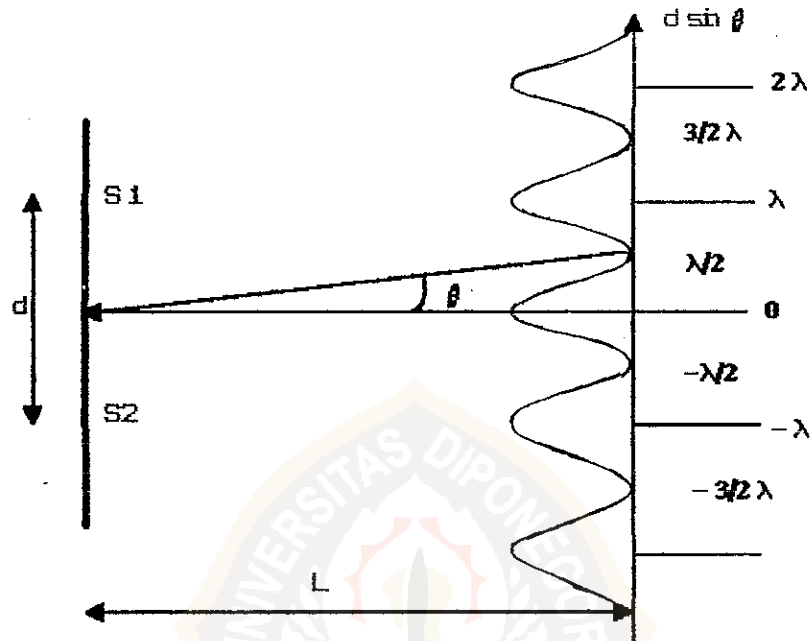
Apabila θ kecil maka $\cos \theta = 1$ dan persamaan (9) serta persamaan (8) menghasilkan :

$$\Delta y = \left[\frac{L}{d} \right] \lambda \quad \dots\dots\dots(9a)$$

Untuk dua berkas gelombang yang berlawanan fase ($\Delta \phi = \pm \pi$), pola interferensi Young yang terjadi dinyatakan oleh rumus :

$$I(\theta) = I_{\text{maks}} \sin^2 \left[\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right] \quad \dots\dots\dots(10)$$

Rumus ini menggambarkan pola interferensi yang serupa dengan pola interferensi persamaan (7) kecuali kedudukan maksima dan minimanya tertukar.

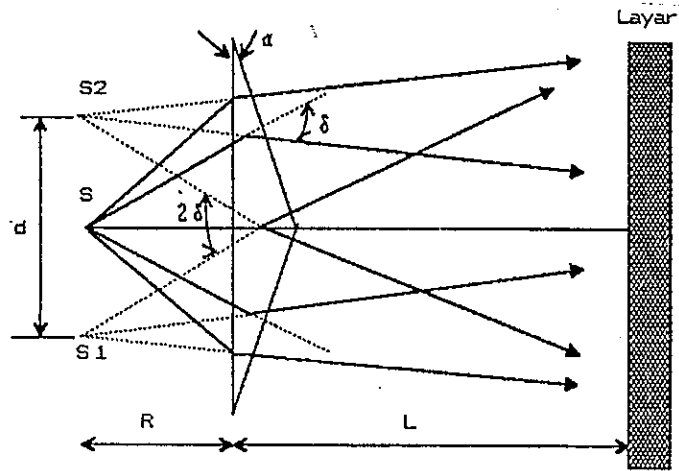


Gambar 2.2. Distribusi intensitas dalam pola interferensi Young (Tjia M.O.1994)

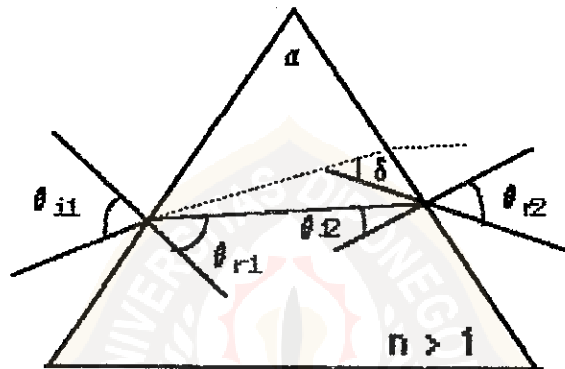
2.2.1.2 Interferometer biprisma Fresnel

Prinsip kerja interferometer biprisma-fresnel dijelaskan dalam gambar 2.3 (a) (Tjia M.O, 1994).

Gelombang dari sumber tunggal S dibelah oleh biprisma menjadi dua berkas koheren yang seolah-olah berasal dari dua sumber terpisah S_1 dan S_2 . Sistem ini secara efektif berfungsi seperti interferometer Young.



(a)



(b)

Gambar 2.3 (a) Ilustrasi prinsip kerja interferometer biprisma-Fresnel pada keadaan deviasi minimum.
 (b) Pembiasan gelombang oleh prisma

Pada gambar 2.3(a) tampak separasi frinji dinyatakan oleh rumus interferensi Young, persamaan 9(a) :

$$\Delta y = \left[\frac{R + L}{d} \right] \lambda, \quad d = R 2 \delta$$

$$= \left[\frac{R + L}{2 R \delta} \right] \lambda \dots\dots\dots(11)$$

Berdasarkan analisa geometri gambar 2.3 (b) diturunkan sudut deviasi δ .

$$\delta = \theta_{i1} + \theta_{r2} - \alpha ; \alpha = \theta_{r1} + \theta_{i2} = \text{tetap} \dots (12)$$

Deviasi minimum ditentukan oleh syarat :

$$\frac{d\delta}{d\theta_{i1}} = 0 ; \frac{d\theta_{r2}}{d\theta_{i1}} = -1 \dots \dots \dots (13)$$

Dengan rumus Snellius dapat ditunjukkan bahwa deviasi minimum terjadi bila ($n \neq 1$) :

$$\theta_{i1} = \theta_{r2} ; \theta_{r1} = \theta_{i2} \dots \dots \dots (14)$$

Untuk keadaan ini berlaku hubungan khusus :

$$\delta = 2\theta_{i1} - \alpha ; \alpha = 2\theta_{r1} \text{ (menurut persamaan 12).}$$

Selanjutnya berdasarkan hukum Snellius diperoleh persamaan :

$$n = \frac{\sin [(\delta + \alpha)/2]}{\sin (\alpha/2)} \dots \dots \dots (15)$$

Untuk α yang kecil (biasanya diambil ≈ 1 agar d tidak terlampau besar) dapat dituliskan :

$$n = \frac{\delta + \alpha}{\alpha} ; \delta = (n-1) \alpha \dots \dots \dots (16)$$

Dengan persamaan 11 menjadi :

$$\Delta y = \frac{(R + L)}{2 R (n-1) \alpha} \dots \dots \dots (17)$$

2.2.2. Interferometer Pembelahan Amplitudo

Dalam interferometer pembelahan amplitudo, kedua gelombang yang berinterferensi diperoleh dengan membagi intensitas gelombang.

2.2.2.1 Interferometer Michelson

Interferometer yang dikembangkan oleh A.A Michelson pada tahun 1881 menggunakan prinsip membagi amplitudo gelombang cahaya menjadi dua bagian yang kira-kira berintensitas sama. Skema dasar interferometer Michelson diperlihatkan pada gambar 2.4. Intensitas cahaya dari sumber S yang tidak dipusatkan dibagi dua oleh pembagi sinar B , sehingga terjadi dua berkas cahaya yang menempuh lintasan rambat terpisah. Kedua berkas cahaya tersebut dipertemukan kembali dengan pemantulan cermin C_1 dan C_2 . Gelas kompensasi C yang diletakkan pada salah satu lintasan cahaya berfungsi menyamakan lintasan optik kedua berkas cahaya. Sehingga kedudukan C_1 dan C_2 berjarak sama dari B . Intensitas cahaya dari S terbagi rata oleh pembagi sinar B , dan selisih lintasan efektif antara kedua berkas itu sama d seperti ditunjukkan pada gambar 2.4. Interferensi antara kedua berkas cahaya pantulan dari sebuah pelat bersisi sejajar dengan ketebalan d dan indeks bias $n = 1$ akan terjadi apabila perubahan lintasan cahaya (Δl) (Tjia M.O, 1994):

$$\Delta l = 2 d \cos \theta \dots\dots\dots(18)$$

Beda fase yang telah ditempuh oleh kedua berkas yaitu :

$$\Phi = k \Delta l \dots\dots\dots(19)$$

dengan $k = \frac{2 \pi n_u}{\lambda} = \text{angka gelombang}$

$n_u = \text{indeks bias udara}$

Apabila persamaan (18) disubsitusikan ke persamaan (19) maka akan didapatkan beda fase antara kedua berkas yaitu:

$$\Phi = \frac{4 \pi n_u d \cos \theta}{\lambda} \dots\dots\dots(20)$$

Kedua berkas cahaya tersebut setelah dipantulkan atau diteruskan akan berinterferensi saling memperkuat apabila beda fase antara keduanya berupa kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang atau 2π , sehingga interferensi akan saling memperkuat bila memenuhi syarat:

$$2 d \cos \theta = \frac{\lambda m}{n_u} \dots\dots\dots(21)$$

Dan interferensi cahaya akan saling memperlemah bila beda fasenya berupa kelipatan setengah panjang gelombang, yaitu bila memenuhi syarat :

$$2 d \cos \theta = \frac{\lambda (m + 1/2)}{n_u} \dots\dots\dots(22)$$

Dengan m menyatakan orde interferensi yang berupa bilangan bulat ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Untuk λ tertentu, orde interferensi dan intensitas cahaya ke arah itu tetap yaitu maksimum bila dipenuhi persamaan (21) dan minimum bila dipenuhi persamaan (22). Apabila dipenuhi persamaan (21) akan tampak suatu cincin terang, sedangkan bila dipenuhi persamaan (22) akan tampak sebagai cincin gelap.

Apabila cairan dengan tinggi h diletakkan pada salah satu lintasan cahaya maka selisih waktu kedua berkas cahaya ketika menempuh jarak d yaitu :

$$\Delta t = \frac{h}{v_m} - \frac{h}{v_o} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

v_m = Kecepatan cahaya dalam cairan

v_o = Kecepatan cahaya dalam udara

Kecepatan cahaya dalam cairan :

$$v_m = \frac{v_o}{n} \dots\dots\dots(24)$$

Substitusi persamaan (23) ke persamaan (24)

$$\Delta t = \frac{n h}{v_o} - \frac{h}{v_o} \dots\dots\dots(25)$$

Apabila $\Delta t = \frac{\Delta d}{v_o}$ maka dari persamaan (25) diperoleh

selisih lintasan

$$\Delta d = nh - h = (n - 1) h \dots\dots\dots(26)$$

Agar terjadi interferensi saling memperkuat antara kedua berkas cahaya maka :

$$\Delta d = m \lambda = 2 h (n - 1)$$

$$m = \frac{2 h (n - 1)}{\lambda} \dots\dots\dots(27)$$

Perubahan orde interferensi akibat perubahan jarak (lintasan) :

$$\Delta m = \frac{2 (n - 1)}{\lambda} \Delta h \dots\dots\dots(28)$$

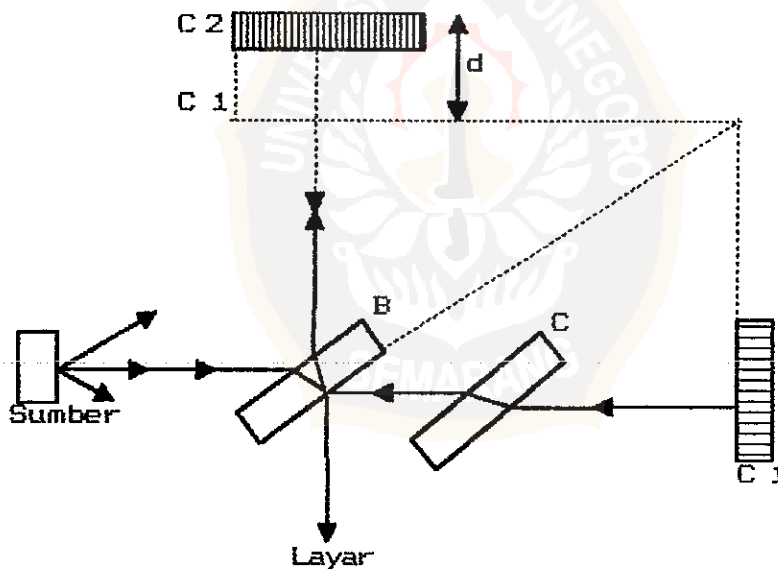
dengan :

Δm = perubahan orde pola interferensi

Δh = perubahan tinggi cairan

n = indeks bias cairan

λ = panjang gelombang cahaya

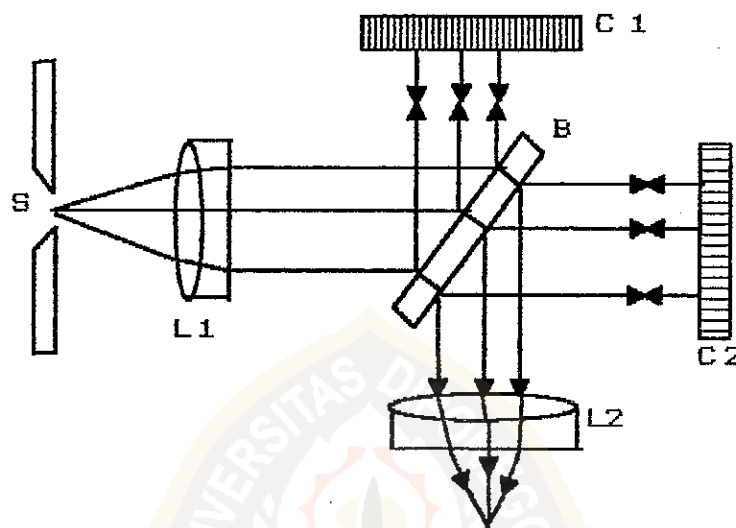


Gambar 2.4. Skema Interferometer Michelson
(Tjia M.O, 1994)

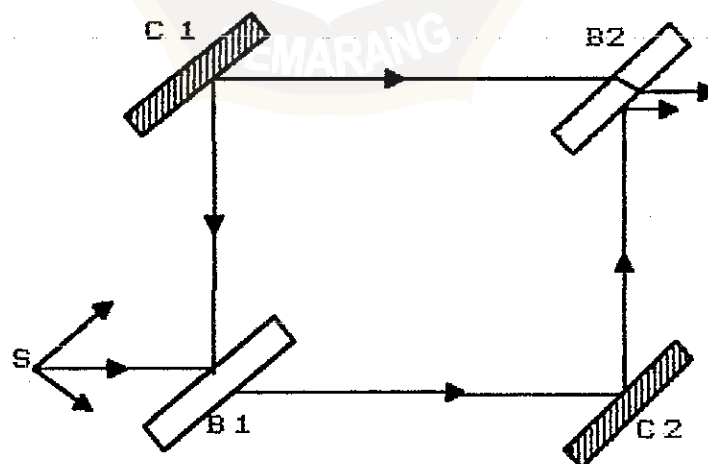
2.2.3. Susunan Interferometer dengan Variasi Lain

Interferometer telah berkembang beraneka ragam variasinya yang mempunyai ciri khas tersendiri,

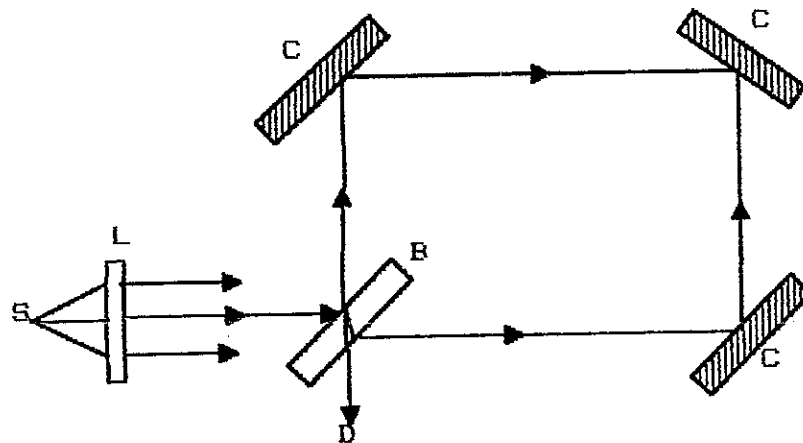
misalnya interferometer Twyman-Green, interferometer Mach-Zehnder dan interferometer Sagnac, yang diperlihatkan pada gambar 2.5, 2.6 dan 2.7 (Tjia M.O, 1984).



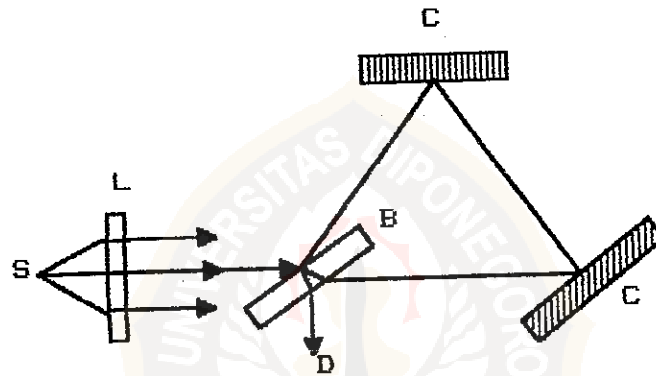
Gambar 2.5. Susunan optik interferometer Twyman - Green dengan sumber cahaya terkolimasi



Gambar 2.6. Susunan optik interferometer Mach - zehnder



(a)



(b)

Gambar 2.7. Susunan optik interferometer Sagnac

(a) Segi empat

(b) Segitiga

Perbedaan pokok Interferometer Twyman - Green dengan Interferometer Michelson terletak pada penggunaan sumber cahaya yang terkolimasi, sehingga dalam Interferometer Twyman - Green pola interferensi yang dihasilkan tidak lagi berbentuk cincin konsentris melainkan berupa noda yang dapat dipusatkan dengan

sebuah lensa. Interferometer Mach Zehnder menggunakan sumber terkolimasi. Sebuah pembagi sinar membagi intensitas cahaya dari sumber dan sebuah pembagi sinar lain mempertemukan kembali kedua berkas terpisah tersebut. Interferometer Sagnac merupakan variasi lain yang tersendiri karena kedua berkas yang berinterferensi menempuh lintasan yang sama tetapi dalam arah berlawanan.

2.3. Indeks Bias

Kecepatan cahaya dalam ruang hampa didefinisikan sebagai (Wangsness, 1975):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \dots \dots \dots (30)$$

Dengan :

μ_0 = permeabilitas ruang hampa

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa

Kecepatan cahaya dalam medium didefinisikan sebagai :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} \dots \dots \dots (31)$$

Indeks bias zat didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan cahaya dalam hampa dengan kecepatan cahaya dalam zat optik yang dirumuskan sebagai berikut:

$$n = \frac{\sqrt{\mu \epsilon}}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \dots \dots \dots (32)$$

Atau :

$$n = C/V \dots\dots\dots(33)$$

dengan

n = indeks bias

C = kecepatan cahaya dalam hampa

V = kecepatan cahaya dalam zat optik

Dalam medium yang berbeda harga permeabilitas dan permitivitasnya berbeda. Dalam penentuan indeks bias cairan dengan metode interferometri digunakan larutan dengan berbagai konsentrasi. Larutan dengan konsentrasi yang berbeda harga permeabilitas dan permitivitasnya berbeda, sehingga indeks bias cairannya juga berbeda. Hubungan antara indeks bias cairan dengan konsentrasi dinyatakan sebagai :

$$n = \alpha (C + 1)^\beta \dots\dots\dots(34)$$

Dengan :

n = indeks bias cairan

C = konsentrasi cairan

α, β = konstanta