

# KOHERENSI SINAR LASER DAN APLIKASINYA PADA INTERFEROMETER

Oleh  
Drs. Nurdin Bukit, M.Si

## A. Pendahuluan.

Pada umumnya semua penerapan sinar laser bertumpu pada ciri khas sinar laser, yaitu koherensi. Dimana sinar laser sebagai sumber cahaya yang memiliki koherensi waktu dan ruang yang jauh lebih tinggi dari sumber-sumber cahaya konvensional, hal ini disebabkan karena fasa cahaya terangsang sama dengan fasa cahaya pemicu. Sifat ini merupakan dasar kemurnian spektral sinar laser. Koherensi terkait dengan fasa gelombang cahaya, secara umum dapat dikatakan bahwa koherensi menyatakan hubungan antara satu bagian gelombang dengan bagian lain.

Dengan perkataan lain sifat koheren sinar laser memungkinkan diperoleh dan dimanfaatkan gejala interferensi, yakni superposisi dua gelombang yang menghasilkan pola intensitas. Koherensi ada dua jenis, yakni koherensi ruang dan koherensi waktu.

Sifat koherensi ruang berhubungan dengan kemampuan sinar laser untuk membuat agar seluruh energi laser terkumpul dalam berkas yang sempit, selain itu adanya koherensi ruang memungkinkan difokuskannya sinar laser pada titik yang terbatas difraksi. Sedangkan koherensi waktu berhubungan dengan panjang rentetan gelombang (wave train), dimana hal ini berhubungan dengan lebar spektrum sinar laser. Spektrum sinar laser yang amat sempit akan memberikan rentetan gelombang yang amat panjang, sehingga mempunyai koherensi waktu atau panjang koherensi yang besar.

Pengujian koherensi ruang dapat dilakukan dengan interferensi Young, sedangkan pengujian koherensi waktu dapat dilakukan dengan interferometer Michelson, kedua bentuk koherensi ini dimanfaatkan dalam teknik holografi dan analisa getaran (vibrasi)

Dalam tulisan ini akan dibahas sifat koherensi dari sinar laser dan pemanfaatannya pada beberapa interferometer.

## B. Sifat Koherensi Sinar.

Ada dua jenis sifat koherensi dari sinar lasernya yaitu :

### 1. Koherensi Ruang.

Ditinjau dua titik P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> dalam ruang, bila beda fase cahaya antara P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> dari waktu ke waktu selalu tetap maka cahaya dikatakan mempunyai koherensi ruang:

$$\varphi (P_1, t) - \varphi (P_2, t) = \text{konstan}$$

Jika P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> merupakan dua titik sembarang, koherensinya disebut koherensi ruang sempurna. Sedangkan jika P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> terbatas, yaitu  $x_{p1} - x_{p2} \leq l$  dengan  $x$  menyatakan koordinat titik, maka dikatakan terdapat koherensi ruang sebagian dan  $l$  disebut panjang koherensi.

### 2. Koherensi waktu.

Tinjau gelombang cahaya dititik P pada saat  $t$  dan pada saat  $t + \tau$ . Jika beda fase antara  $t$  dan  $t + \tau$  selalu tetap untuk setiap  $t$  maka dikatakan terdapat koherensi waktu:

$$\varphi (x, t) - \varphi (x, t) = \text{konstan}$$

jika keadaan diatas berlaku untuk setiap  $t$ , maka koherensinya disebut koherensi waktu sempurna.

Koherensi dapat diukur dengan menggunakan perumusan tertentu.

Misal fungsi gelombang cahaya:

$E(t) = E_0 \exp i \varphi(t)$  dengan  $E_0$  amplitudo cahaya dan  $\varphi$  fasa cahaya maka fungsi koherensi bersama (mutual coherence function) didefinisikan sebagai :

$$T_{12}(\tau) = [E_1(t + \tau)E_2^*(t)]$$

$$\Gamma_{12}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} E_1(t + \tau)E_2^*(t) dt$$

untuk kasus inkoheren  $T_{12}(\tau) = 0$

Selanjutnya fungsi koherensi diri (self coherence function) diberikan oleh:

$$T_{11}(\tau) = [E_1(t + \tau)E_1(t)] \text{ dan}$$

$$T_{22}(\tau) = [E_2(t + \tau)E_2(t)]$$

yang tank lain menyatakan intensitas masing-masing cahaya yakni:

$$I_{s1} = T_{11}(0) \text{ dan } I_{s2} = T_{22}(0)$$

Untuk memudahkan uraian selanjutnya, kita defenisikan fungsi kolerasi normal

$$\gamma_{12}(\tau) = \frac{\Gamma_{12}(\tau)}{\sqrt{\Gamma_{11}(0)\Gamma_{22}(0)}} = \frac{\langle E_1(t + \tau)E_2^*(t) \rangle}{\sqrt{\langle |E_1|^2 \rangle \langle |E_2|^2 \rangle}}$$

Harga mutlak  $|\gamma_{12}(\tau)|$  mengukur derajat koherensi kedua gelombang yang berinterferensi

Apabila cahaya digunakan memiliki koherensi yang tidak sempurna, harus dituliskan:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(\tau)| \cos[\alpha_{12}(\tau) - \varphi]$$

dimana

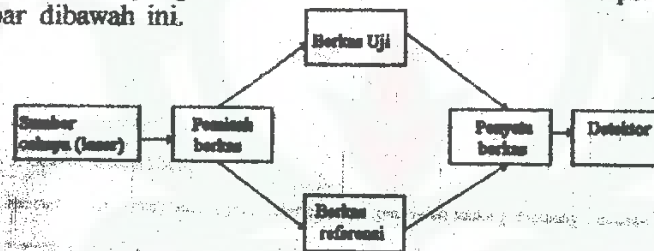
$\gamma_{12}(\tau) = |\gamma_{12}(\tau)| \exp i[\alpha_{12}(\tau) - \varphi]$  adalah derajat koherensi kompleks. ketajaman pola interferensi diukur dengan pada kontras yang disebut dengan visibilitas frinji dan ditentukan dengan rumus:

$$v = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}|}{I_1 + I_2}$$

Klasifikasi derajat koherensi ditentukan atas dasar harga mutlak  $|\gamma_{12}|$   
 $|\gamma_{12}| = 1$  berarti koheren sempurna dengan  $I_1 = I_2$ , kontras maksimum.  
 $0 < |\gamma_{12}| < 1$  berarti koherensi sebagian, bila  $I_1 \neq I_2$   
 $|\gamma_{12}| = 0$  berarti tidak koheren, tidak ada kontras dalam distribusi intensitas dengan kata lain terjadi pola interferensi

### C. Prinsip Dasar Interferometer.

Interferometer adalah suatu perangkat untuk pengukuran yang memanfaatkan gejala interferensi. Pada umumnya prinsip dasar interferometer yang memanfaatkan sifat koherensi diperhatikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Prinsip Dasar sebuah interferometer.

Menurut ciri pokoknya, interferometer dapat dibagi dalam dua kategori yaitu:

a. Interferometer pembelahan muka gelombang (wavefront splitting), dalam sistem ini kedua berkas gelombang yang berinterferensi diperoleh dari sumber gelombang semula tanpa mengurangi intensitasnya atau dengan perkataan lain cahaya dapat dibagi dua menurut posisi geometrisnya, misalnya bagian atas berkasnya menjadi berkas uji dan bagian bawah menjadi berkas referensi.

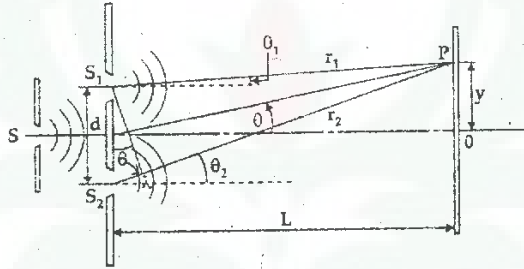
b. Interferometer pembelah amplitudo (amplitude splitting), dalam hal ini kedua gelombang yang berinterferensi diperoleh dengan membagi intensitas gelombang semula, atau dengan perkataan lain cahaya dibagi dua berkas yang sama bentuknya, tetapi dengan amplitudo yang berbeda.

Berkas uji adalah berkas cahaya yang dikenakan dengan objek yang akan diukur/diuji. Objek dapat berupa cermin bergerak (yang pergeserannya ingin diukur), gas (yang variasi indeks biasnya ingin diketahui) dan lain-lain. Sedangkan berkas referensi adalah berkas cahaya pola fasanya dipertahankan tetap untuk nantinya dipertemukan lagi dengan berkas uji. Perpaduan kedua gelombang menghasilkan pola interferensi (garis atau daerah terang dan gelap) yang diamati oleh detektor (layar, fotodioda, film dan sebagainya). Interferensi antara keduanya memberikan informasi mengenai apa yang telah dialami berkas uji, sehingga pada gilirannya memberikan informasi mengenai objek uji.

#### D. Jenis-jenis Interferometer

##### I. Interferometer Young.

Interferometer Young adalah jenis interferometer pembelah muka gelombang, dimana kegunaan interferometer ini antara lain untuk memeriksa derajat koherensi sumber cahaya dan mengukur jarak yang kecil antara dua celah. Prinsip kerja dari interferometer Young diperhatikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Konfigurasi interferensi 2 celah dari Young.

Pada eksperimen Young hasil interferensinya diamati pada layar yang berjarak L yang jauh lebih besar dari jarak antara celah d. Untuk konfigurasi eksperimen ini berlaku aproksimasi medan jauh dimana :

$$r_1, r_2 \gg d \text{ dan } \lambda ; \theta_1 = \theta_2 = \theta$$

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

$\Delta r = r_2 - r_1 = d \sin \theta$   
 misalkan gelombang tersebut berpolarisasi linier dalam arah tegak lurus bidang kertas dengan  $\psi_1 = \psi_2 = \psi$ , maka masing-masing persamaan itu dapat ditulis:

$$E_1(x,t) = E_{10} e^{i(\omega t - kr_1)}$$

$$E_2(x,t) = E_{20} e^{i(\omega t - kr_2)}$$

maka hasil interferensinya pada titik P adalah:

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

untuk kasus khusus dimana  $E_{10} = E_{20} = E_0$  maka

$$I(\Delta r) = \frac{1}{2} \langle |E(x,t)|^2 \rangle = 2I_0 \left\{ 1 + \cos[(\psi_2 - \psi_1) - k(r_2 - r_1)] \right\} = 4I_0 \cos^2 \left[ \frac{\Delta\phi}{2} - \frac{k\Delta r}{2} \right]$$

dimana  $I_0 = E_0^2/2$ , dengan mensubsidikan persamaan  $\Delta r = r_2 - r_1 = d \sin \theta$  dan  $\Delta\phi = \psi_2 - \psi_1$  maka persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

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

Untuk sumber sefase dimana  $\Delta\phi = 0$  maka persamaan diatas dapat ditulis:

$$I(\theta) = I_{\max} \cos^2 \left[ \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta \right], I_{\max} = 4I_0$$

untuk  $I(\theta) = 0$ , maka  $d \sin \theta = [(2m+1)/2] \lambda$ , dengan  $m=0,1,2,3,\dots$

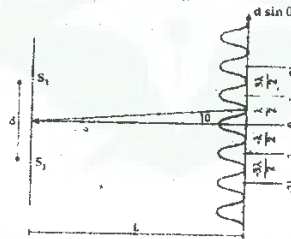
untuk  $I(\theta) = I_{\max}$ , maka  $d \sin \theta = m\lambda$  dengan  $m=0,1,2,\dots$

Gambar dibawah ini memperlihatkan pola interferensi

Dari persamaan diatas bahwa separasi sudut  $\theta$  antara frinji terang atau frinji gelap berdampingan memenuhi persamaan:

$$(d \cos \theta) \Delta\theta = \lambda$$

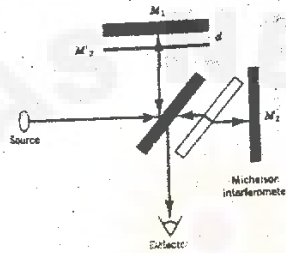
Kedudukan frinji pada bidang pengamatan diungkapkan oleh koordinat  $y = L \tan \theta$



Gambar 37. Distribusi intensitas dalam pola interferensi Young.

## 2. Interferometer Michelson.

interferometer Michelson adalah termasuk interferometer pembelah amplitudo dimana interferometer ini sangat berguna dalam pengukuran indeks bias, pengukuran panjang (yang diukur adalah pergeseran total cermin uji), pengukuran getaran (vibrasi) dan dapat juga digunakan untuk pengukuran simpangan permukaan (disini permukaan menjadi cermin uji). Pada gambar dibawah ini diperlihatkan konfigurasi interferometer Michelson, yaitu terdiri dari sumber cahaya, pemisash berkas, cermin referensi dan cermin uji.

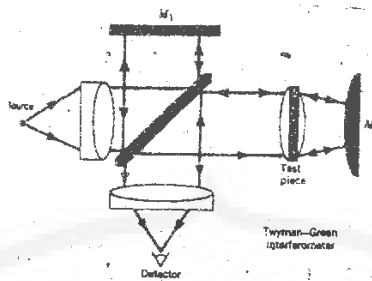


Gambar 4. Perangkat interferometer Michelson.

Intensitas maksimum (keadaan terang) diperoleh  $\delta m \cdot 2\pi$  dengan bilangan bulat, sedangkan intensitas minimum (keadaan gelap) diperoleh  $\delta = (2m + 1) \cdot \pi$  dengan demikian intensitas akan berubah dari maksimum ke minimum atau sebaliknya dengan pergeseran sejauh simpangan  $x = \lambda/4$  dimana  $\lambda$  panjang gelombang sinar laser yang digunakan.

## 3. Interferometer Twyman-Green.

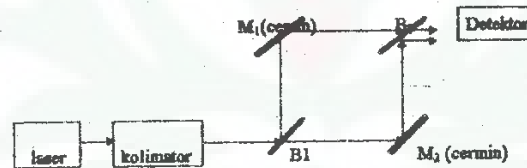
Interferometer ini mirip dengan interferometer Michelson. Pada interferometer ini digunakan cahaya yang terkollimasi (lebar dan sejajar) dalam hal ini pola interferensi yang dihasilkan tidak lagi berbentuk cincin kosentris, melainkan berupa "spot" yang dapat dipusatkan dengan sebuah lensa. Interferometer ini pada umumnya digunakan untuk menguji permukaan optik, yaitu memeriksa apakah terdapat cacat atau penyimpangan dari bentuk yang diharapkan. Pada gambar dibawah ini diperlihatkan perangkat interferometer Twyman-Green.



Gambar 5. Perangkat interferometer Twyman-Green.

#### 4. Interferometer Mach-Zehnder.

Perangkat interferometer Mach-Zehnder diperlihatkan pada gambar dibawah ini, dimana lintasan cahaya membentuk empat persegi panjang dan sumber tak terkolimasi. pada interferometer ini berkas uji dan berkas referensi menjalani lintasan yang simetris baik bentuk maupun arahnya, dengan demikian interferometer ini tidak begitu peka terhadap gangguan dari luar (gerakan udara, getaran dan sebagainya), karena gangguan akan terjadi dengan samabesar pada berkas uji dan berkas referensi. Pada umumnya interferometer ini digunakan untuk mengukur variasi fasa yang dialami berkas uji, pengujian elemen optik dan variasi kerapatan aliran gas dalam trowongan angin (windtunnel) sampai ke pengukuran kountur densitas plasma dalam reaktor termonuklir.



Gambar 6. Kontruksi interferometer Mach-Zehnder

#### Penutup

Dalam bidang instrumentasi dan pengukuran sinar laser berdasarkan sifat koheran berferan sangat penting dalam beberapa jenis perangkat interferometer, dengan menggunakan perangkat ini dapat mengukur jarak yang sangat kecil (dapat mendeteksi perubahan sampai  $\lambda/10$ , variasi indeks bias, amplitudo getaran, pengujian elemen optik, dan lain sebagainya.



## DAFTAR PUSTAKA

- A. Handoyo, 1984 " *Aplikasi Laser untuk instrumentasi dan pengukuran* Proceedings Kursus Laser dan Aplikasinya LFN-LIPI Bandung
- A. Handoyo, 1987, " *Optika Teknik* ", Diklat kuliah Jurusan Teknik Fisika ITB Bandung.
- Hecht, Eugene 1987 " *Optics* ", 2<sup>nd</sup> , Addison - Wesley Publishing Company, Inc Massachusetts.
- M.O. Tjia, 1994, " *Gelombang* " Dabara Publishers, Solo.
- Robert Guintier, 1990, " *Moderen Optics* " Jhon Wiley & Sons, New York
- Sutrisno, 1984 " *Ciri-Ciri Cahaya Laser* " Proceedings Kursus Laser dan Aplikasinya LFN-LIPI Bandung.

ooo000ooo