

Penentuan Nilai Panjang Koherensi Laser Menggunakan Interferometer Michelson

Agustina Setyaningsih

Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Diponegoro

ABSTRACT

Interferometer Michelson method has been used to measure coherence length of He-Ne laser, red diode laser, and green diode laser.

First step in this research is setting up the Interferometer by places movable mirror on mirror rail, then determined coherence length of He-Ne and diode laser by shifting movable mirror until the interference fringes do not appear on screen. Coherence length is equal to twice the difference in optical path length L_1 and L_2 .

Result of measurement for the coherence length of He-Ne laser I is $L_c = (12,4 \pm 0,3)$ cm, He-Ne laser II is $L_c = (14,6 \pm 0,4)$ cm, red diode laser I is $L_c = (17,0 \pm 0,2)$ cm, red diode laser II is $L_c = (26,8 \pm 0,1)$ cm, and green diode laser is $L_c = (3,0 \pm 0,2)$ cm.

Keyword : Coherence, coherence length, laser, interferometer Michelson.

PENDAHULUAN

Interferensi adalah penggabungan secara superposisi dua gelombang atau lebih yang bertemu pada satu titik di ruang. Hasil interferensi yang berupa pola-pola frinji dapat digunakan untuk menentukan beberapa besaran fisis yang berkaitan dengan interferensi, misalnya panjang gelombang suatu sumber cahaya, indeks bias dan ketebalan bahan.

Untuk memahami fenomena interferensi harus berdasar pada prinsip optika fisis, yaitu cahaya dipandang sebagai perambatan gelombang yang tiba pada suatu titik yang bergantung pada fase dan amplitudo gelombang tersebut. Untuk memperoleh pola-

pola interferensi cahaya haruslah bersifat koheren, yaitu gelombang-gelombang harus berasal dari satu sumber cahaya yang sama. Koherensi dalam optika sering dicapai dengan membagi cahaya dari sumber tunggal menjadi dua berkas atau lebih, yang kemudian dapat digabungkan untuk menghasilkan pola interferensi (Tipler, 1991).

Panjang koherensi dapat digunakan untuk mengukur tingkat kemonokromatisan suatu sumber cahaya. Beberapa aplikasi membutuhkan sumber cahaya yang memiliki koherensi waktu dan koherensi ruang misalnya untuk holografi. Dalam penelitian ini ditentukan nilai panjang koherensi beberapa jenis laser dengan menggunakan metode interferometer Michelson (Paschotta, 2006).

Dalam penentuan nilai panjang koherensi, yang diamati adalah pola interferensi akibat perubahan panjang lintasan optis pada interferometer Michelson. Dari pola interferensi yang terbentuk dapat dihitung nilai panjang koherensi sumber cahaya monokromatik (laser).

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai dasar pembuatan spektroskopi, dan untuk aplikasi dalam bidang holografi. Selain itu dapat berguna untuk menambah wawasan tentang prinsip kerja Interferometer Michelson beserta aplikasi penggunaannya.

DASAR TEORI

1. Laser

Laser merupakan singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, yang artinya penguatan cahaya dengan rangsangan pancaran radiasi. Sifat yang terjadi akibat kesamaan frekuensi adalah monokromatis dan sifat yang terjadi akibat kesamaan fase adalah koherensi. Jadi, syarat terbentuknya laser adalah sumber cahaya yang monokromatis dan koheren (Reynaldo, 2001).

Laser mempunyai sifat-sifat yang tidak dimiliki oleh sumber cahaya lain. Sifat-sifat khas laser antara lain kesearahan, intensitas, monokromatis, dan koherensi (Laud, 1988).

2. Interferometer Michelson

Interferensi adalah penggabungan secara superposisi dua gelombang atau lebih yang bertemu pada satu titik di ruang. Apabila dua gelombang yang berfrekuensi dan berpanjang gelombang sama tapi berbeda fase bergabung, maka gelombang yang dihasilkan

merupakan gelombang yang amplitudonya tergantung pada perbedaan fasenya. Jika perbedaan fasenya 0 atau bilangan bulat kelipatan 360° , maka gelombang akan sefase dan berinterferensi secara saling menguatkan (interferensi konstruktif). Sedangkan amplitudonya sama dengan penjumlahan amplitudo masing-masing gelombang. Jika perbedaan fasenya 180° atau bilangan ganjil kali 180° , maka gelombang yang dihasilkan akan berbeda fase dan berinterferensi secara saling melemahkan (interferensi destruktif). Amplitudo yang dihasilkan merupakan perbedaan amplitudo masing-masing gelombang (Tipler, 1991).

Suatu alat yang dirancang untuk menghasilkan interferensi dan pola-polanya yang dihasilkan dari perbedaan panjang lintasan disebut interferometer optik. Interferometer dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu interferometer pembagi muka gelombang dan interferometer pembagi amplitudo. Pada pembagi muka gelombang, muka gelombang pada berkas cahaya pertama di bagi menjadi dua, sehingga menghasilkan dua buah berkas sinar baru yang koheren, dan ketika jatuh di layar akan membentuk pola interferensi yang berwujud frinji gelap terang berselang-seling. Pola terang terjadi apabila gelombang-gelombang dari kedua berkas sinar sefase sewaktu tiba di layar. Sebaliknya pola gelap terjadi apabila gelombang-gelombang dari kedua berkas sinar berlawanan fase sewaktu tiba di layar. Agar pola interferensi nyata, tempat garis-garis gelap terang itu harus tetap sepanjang waktu yang berarti beda fase antara

gelombang-gelombang dari kedua celah harus tidak berubah-ubah dan hal ini hanya mungkin apabila kedua gelombang tersebut koheren, yaitu identik bentuknya (Soedjojo, 2001).

Untuk pembagi amplitudo, diumpamakan sebuah gelombang cahaya jatuh pada suatu lempeng kaca yang tipis. Sebagian dari gelombang akan diteruskan dan sebagian lainnya akan dipantulkan. Kedua gelombang tersebut tentu saja mempunyai amplitudo yang lebih kecil dari gelombang sebelumnya. Ini dapat dikatakan bahwa amplitudo telah terbagi. Jika dua gelombang tersebut bisa disatukan kembali pada sebuah layar maka akan dihasilkan pola interferensi (Hecht, 1992).

3. Koherensi

Koherensi adalah salah satu sifat gelombang yang dapat menunjukkan interferensi, yaitu gelombang tersebut selalu sama baik fase maupun arah penjalarnya. Koherensi juga merupakan parameter yang dapat mengukur kualitas suatu interferensi (derajat koherensi). Untuk menghasilkan frinji-frinji interferensi, sangat diperlukan syarat-syarat agar gelombang-gelombang yang berinterferensi tersebut tetap koheren selama periode waktu tertentu. Jika salah satu gelombang berubah fasenya, frinji akan berubah menurut waktu (Laud, 1988).

Laser merupakan contoh sumber tunggal dari radiasi tampak yang koheren. Pada panjang gelombang yang lebih panjang mudah untuk menghasilkan gelombang koheren. Cahaya keluaran laser mempunyai koherensi terhadap waktu dan ruang sangat

besar dibandingkan dengan sumber-sumber cahaya pada umumnya.

Ada dua konsep koherensi yang tidak bergantung satu sama lain, yaitu koherensi ruang (*spatial coherence*) dan koherensi waktu (*temporal coherence*). Koherensi ruang adalah sifat yang dimiliki dua gelombang yang berasal dari sumber yang sama, setelah menempuh lintasan yang berbeda akan tiba di dua titik yang sama jauhnya dari sumber dengan fase dan frekuensi yang sama. Hal ini mungkin terjadi jika dua berkas tersebut secara sendiri-sendiri tidak koheren waktu (menurut waktu), karena setiap perubahan fase dari salah satu berkas diikuti oleh perubahan fase yang sama oleh berkas lain. Dengan sumber cahaya biasa, hal ini hanya mungkin jika dua berkas dihasilkan oleh satu sumber.

Koherensi waktu (*temporal coherence*) adalah sifat yang dimiliki dua gelombang yang berasal dari sumber yang sama, yang setelah menempuh lintasan yang berbeda tiba di titik yang sama dengan beda fase yang tetap. Jika beda fase berubah beberapa kali dan secara tidak teratur selama periode pengamatan yang singkat, maka gelombang dikatakan tidak koheren. Koherensi waktu dari sebuah gelombang menyatakan kesempitan spektrum frekuensinya dan tingkat keteraturan dari barisan gelombang. Cahaya koheren sempurna ekuivalen dengan sebuah barisan gelombang satu frekuensi dengan spektrum frekuensinya dapat dinyatakan hanya dengan satu garis, sehingga koherensi waktu dapat menunjukkan seberapa monokromatis suatu sumber cahaya. Dengan kata lain koherensi waktu

mengkarakterisasi seberapa baik suatu gelombang dapat berinterferensi pada waktu yang berbeda (Hecht, 1992).

Barisan gelombang yang spektrumnya hampir terdiri dari satu frekuensi tapi lebarnya berhingga atau dengan sedikit fluktuasi amplitudo dan fase biasanya disebut *quasi* koheren. Panjang koherensi merupakan jarak sejauh mana gelombang dapat berinterferensi. Panjang koherensi suatu gelombang tertentu, seperti laser atau sumber lain dapat dijelaskan dari persamaan berikut:

$$L_c = c\tau_c = \frac{c}{\Delta\nu} \quad (2.1)$$

dengan L_c adalah panjang koherensi, τ_c koherensi waktu, c adalah cepat rambat cahaya, dan $\Delta\nu$ adalah lebar spektrum (Ducharme, 2006).

Pada interferometer Michelson, panjang koherensi sama dengan dua kali panjang lintasan optis antara dua lengan pada interferometer Michelson, diukur pada saat penampakan frinji sama dengan nol. Ketika *movable mirror* digerakkan, maka kedua berkas laser yang melewati L_1 dan L_2 memiliki jarak lintasan yang berbeda (lihat bagan pada gambar 2.1). Sehingga beda optik masing-masing berkas adalah $2L_1$ dan $2L_2$. Jadi beda lintasan optisnya adalah (Hecht, 1992):

$$L_c = 2L_2 - 2L_1 = 2(L_2 - L_1) \quad (2.2)$$

Beberapa aplikasi membutuhkan sumber cahaya yang memiliki koherensi waktu dan koherensi ruang yang sangat tinggi. Aplikasi ini banyak digunakan untuk interferometri,

holografi, dan beberapa tipe sensor optik. Untuk aplikasi lain dengan tingkat koherensi yang lebih kecil, contohnya koherensi waktu yang rendah (tetapi dikombinasikan dengan koherensi ruang yang tinggi) diperlukan untuk tomografi (*optical coherence tomography*), dimana tampilannya dihasilkan oleh interferometri dan resolusi tinggi yang memerlukan koherensi waktu rendah. Derajat koherensi juga sesuai untuk tampilan laser proyeksi, aplikasi gambar dan pointer (Paschotta, 2006).

METODE PENELITIAN

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam penelitian ini adalah mengkalibrasi interferometer Michelson dengan cara mengatur posisi laser, *beam splitter*, kedua cermin dan lensa agar sinar laser yang melewati semua peralatan tersebut tepat segaris. Kemudian mencari pola interferensi dengan cara menggeser-geser salah satu cermin sampai dihasilkan pola gelap terang (frinji) pada layar.

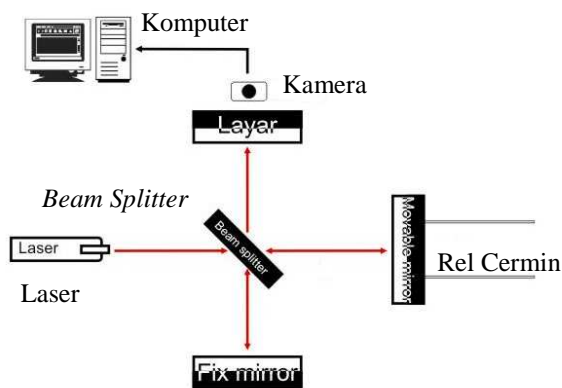
Setelah terbentuk pola interferensi, kemudian dilakukan pengukuran panjang L_1 (jarak antara *beam splitter* dengan *fix mirror*) dan L_2 (jarak antara *beam splitter* dengan *movable mirror*). Pengukuran panjang L_2 dilakukan dengan menggeser *movable mirror* yang berada pada rel cermin. Penggeseran cermin tersebut berpengaruh terhadap pola interferensi yang dapat dilihat pada layar.

Mengamati perubahan pola-pola interferensi pada laser He-Ne, laser dioda

merah dan laser dioda hijau yang semakin mengecil yang terjadi sebagai akibat dari perubahan panjang L_2 sampai akhirnya tepat tidak terjadi interferensi (tidak terdapat pola gelap terang). Setelah diperoleh panjang L_1 dan L_2 maka nilai panjang koherensi L_c dapat dihitung.

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah L_1 (jarak antara *beam splitter* dengan *fix mirror*) dan L_2 (jarak antara *beam splitter* dengan *movable mirror*).

Diagram alat Interferometer Michelson yang digunakan dalam percobaan ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Diagram alat percobaan Interferometer Michelson untuk menentukan panjang koherensi laser

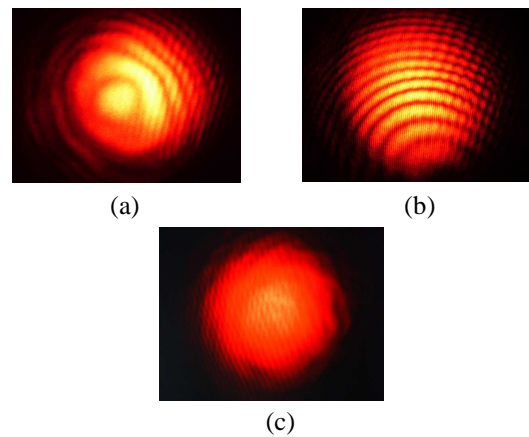
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan Nilai Panjang Koherensi Laser He-Ne

Untuk menentukan nilai panjang koherensi (L_c) Laser He-Ne, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2) yaitu dengan mengamati perubahan frinji akibat adanya pergeseran lintasan optis pada berkas laser yang berinterferensi. Bila salah satu

lintasan optis dari kedua berkas mengalami pergeseran, walaupun dalam orde beberapa mikro, maka akan terjadi pergeseran gelombang cahaya monokromatik sumber tersebut. Jarak lintasan yang lebih panjang akan mempengaruhi fase gelombang yang jatuh ke layar.

Ketika salah satu cermin digeser, maka yang terjadi adalah beda lintasan optis semakin besar, dan perubahan pola frinji yang semakin mengecil dan akhirnya pada suatu jarak tertentu akan hilang. Dalam penelitian ini digunakan dua laser He-Ne. Laser He-Ne I adalah laser He-Ne buatan Pasco dengan panjang gelombang 632,8 nm, sedangkan laser He-Ne II adalah laser produksi Melles Griot dengan panjang gelombang 632,8 nm. Pada gambar 2.1 ditunjukkan bentuk pola-pola interferensi dari interferometer Michelson dengan sumber laser He-Ne I.

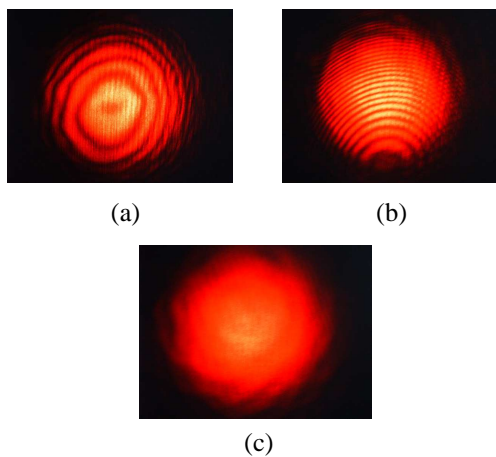


Gambar 2.1. Gambar pola interferensi laser He-Ne I dengan $\lambda=632,8$ nm, $L_c=(12,4\pm 0,3)$ cm; (a) pola interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.

Panjang lintasan ketika tepat tidak terjadi interferensi dinamakan L_2 . Dari hasil

pengukuran diperoleh nilai L_1 sebesar $(16,80 \pm 0,03)$ cm dan L_2 sebesar $(23,00 \pm 0,14)$ cm, maka panjang koherensi Laser He-Ne I (L_c) adalah $(12,4 \pm 0,3)$ cm.

Hasil perhitungan pada laser He-Ne II diperoleh nilai L_1 sebesar $(18,02 \pm 0,02)$ cm, L_2 sebesar $(25,3 \pm 0,2)$ cm dan panjang koherensi laser He-Ne II (L_c) sebesar $(14,6 \pm 0,4)$ cm. Gambar 2.2 merupakan gambar pola interferensi pada laser He-Ne II.



Gambar 2.2. Gambar pola interferensi laser He-Ne II dengan $\lambda=632,8$ nm, $L_c=(14,6 \pm 0,4)$ cm; (a) pola Interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.

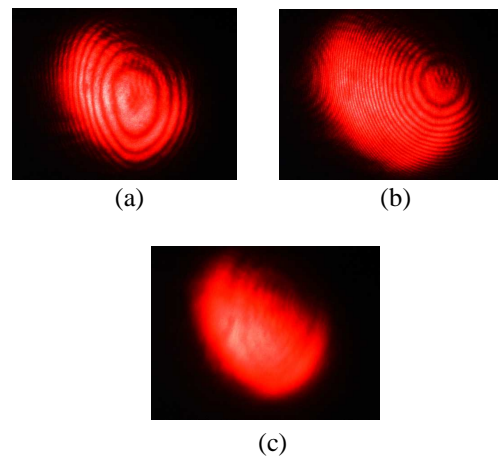
2. Penentuan Nilai Panjang Koherensi Laser Dioda Merah

Digunakan dua laser dioda merah dalam penelitian ini, kedua laser dioda merah ini memiliki panjang gelombang yang berbeda, laser dioda merah yang pertama memiliki panjang gelombang $\lambda = (645 \pm 2)$ nm (Falah, 2008) dan disebut sebagai laser dioda merah I sedangkan laser dioda merah yang kedua memiliki panjang gelombang $\lambda = (648 \pm 2)$ nm

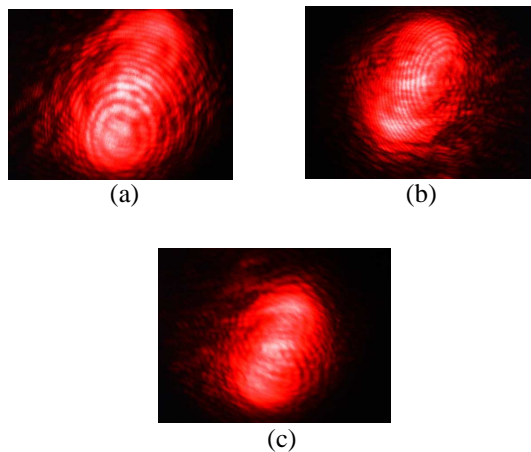
(Falah, 2008) dan disebut sebagai laser dioda merah II. Pada saat salah satu cermin digeser, maka terjadi perubahan lintasan optis dan terjadi perubahan pola frinji. Pada laser dioda merah I, diperoleh nilai L_1 sebesar $(16,53 \pm 0,02)$ cm dan L_2 sebesar $(25,05 \pm 0,08)$ cm, maka panjang koherensinya (L_c) adalah $(17,0 \pm 0,2)$ cm.

Sedangkan pada laser dioda merah II, diperoleh nilai L_1 sebesar $(17,03 \pm 0,01)$ cm dan L_2 sebesar $(30,45 \pm 0,06)$ cm, maka panjang koherensinya (L_c) adalah $(26,8 \pm 0,1)$ cm.

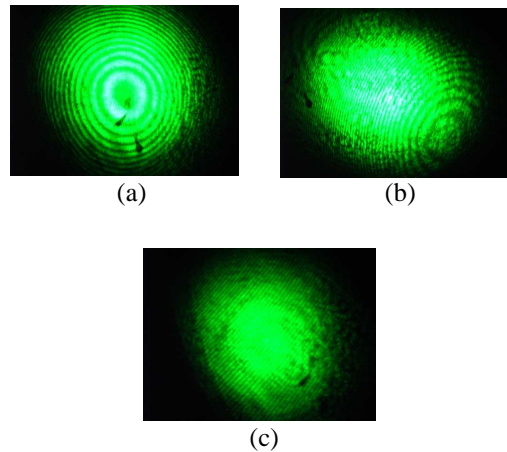
Pada gambar 2.3 dan 2.4 disajikan gambar pola frinji untuk masing-masing laser dioda merah.



Gambar 2.3. Gambar pola interferensi Laser Dioda merah I dengan $\lambda = (645 \pm 2)$ nm (Falah, 2008), $L_c=(17,0 \pm 0,2)$ cm; (a) pola interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.



Gambar 2.4. Gambar pola interferensi Laser Dioda merah II dengan $\lambda = (648 \pm 2)$ nm (Falah, 2008), $L_c = (26,8 \pm 0,1)$ cm (a) pola interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.



Gambar 2.5. Gambar pola interferensi Laser dioda hijau dengan $\lambda = (543 \pm 6)$ nm (Falah, 2008), $L_c = (3,0 \pm 0,2)$ cm (a) pola interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.

3. Penentuan Nilai Panjang Koherensi Laser Dioda Hijau

Sama seperti laser He-Ne dan laser dioda merah, perubahan panjang lintasan salah satu berkas pada interferometer Michelson dengan laser dioda hijau dengan panjang gelombang (543 ± 6) nm (Falah, 2008) mengakibatkan perubahan pola frinji. Dari perhitungan diperoleh nilai L_1 sebesar $(20,02 \pm 0,01)$ cm dan panjang lintasan ketika tepat tidak terjadi interferensi atau L_2 sebesar $(21,5 \pm 0,1)$ cm, sehingga panjang koherensi (L_c) laser dioda hijau adalah $(3,0 \pm 0,2)$ cm.

Pada gambar 2.5, dapat dilihat pola interferensi dari laser dioda hijau pada saat interferensi sempurna sampai ketika tidak terdapat pola interferensi pada layar.

Dari data pengamatan dapat dilihat bahwa nilai L_1 mengalami perubahan, hal ini dilakukan untuk menyempurnakan pola frinji, sehingga nilai L_1 tidak tetap. Namun demikian, karena perubahan panjang yang sangat kecil, maka perubahan nilai L_1 dapat diabaikan. Untuk pengukuran yang lebih presisi dan akurat bisa dilakukan hal yang mungkin bisa mengurangi tingkat kesalahan, yaitu dengan meletakkan laser sejajar dengan alat sehingga sinar akan tetap tegak lurus dengan layar maupun cermin.

KESIMPULAN

Dari penelitian diperoleh hasil nilai panjang koherensi Laser He-Ne I sebesar $(12,4 \pm 0,3)$ cm, Laser He-Ne II sebesar $(14,6 \pm 0,4)$ cm, Laser Dioda Merah I sebesar $(17,0 \pm 0,2)$ cm, Laser Dioda Merah II sebesar

$(26,8 \pm 0,1)$ cm, dan Laser Dioda Hijau sebesar $(3,0 \pm 0,2)$ cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Ducharme, S., 2006, *Physics of Laser and Modern Optics*, Nebraska, University of Nebraska.
- Falah, M., 2008, *Analisis Pola Interferensi pada Interferometer Michelson untuk Menentukan Panjang Gelombang Sumber Cahaya*, Semarang, Skripsi S-1 FMIPA UNDIP
- Halliday, D., dan Resnick, R., 1993, *Fisika Jilid 2*, Jakarta, Erlangga.
- Halliday, D., dan Resnick, R., 1999, *Physics* (terjemahan Pantur Silaban dan Erwin Sucipto), Jilid 2, Edisi 3, Jakarta, Erlangga.
- Hecht, E., 1992, *Optics*, 2nd edition, Addison Wesley.
- Laud, B.B., 1988, *Laser Dan Optik Non Linier*, Terjemahan Sutanto, penerbit UI Press, Jakarta.
- Paschotta, R., 2006, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, www.rp-photonics.com/coherence_length.html, 23/12/2007, 06:30 am.
- Reynaldo, F., 2001, *Laser, Gelombang dan Optik*, www.geocities.com/reiinaldo/Laser, 29/12/2007, 10:03 am.
- Soedjo, P., 1992, *Azas-Azas Ilmu Fisika Jilid 3 Optika*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Soedjo, P., 2001, *Asas-Asas Ilmu Fisika Jilid 4 Fisika Modern*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Tipler, P., 1991, *Fisika Untuk Teknik dan Sains*, Jakarta, Erlangga.