

Pengukuran Panjang Koherensi Menggunakan Interferometer Michelson

Agustina Setyaningsih, Indras Marhaendrajaya, K. Sofjan Firdausi
Laboratorium Optoelektronik & Laser, Jurusan Fisika FMIPA UNDIP

ABSTRACT

A simple measurement of coherence length of He-Ne laser, red diode laser, and green diode laser using Michelson interferometer has been conducted. The steps in this research were setting up the Interferometer by places movable mirror on mirror rail. To determine the coherence length of the laser's light, movable mirror has been shifted until the interference fringes disappear on the screen. Results 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, and green diode laser II is $L_c = (3,0 \pm 0,2)$ cm.

Keywords: Coherence, coherence length.

PENDAHULUAN

Panjang koherensi dapat digunakan untuk mengukur tingkat kemonokromatisan suatu sumber cahaya. Semakin tinggi tingkat kemonokromatisan sumber cahaya, semakin besar nilai koherensinya, baik nilai koherensi ruang maupun koherensi waktu. Beberapa aplikasi laser sangat membutuhkan sumber cahaya yang memiliki koherensi waktu dan koherensi ruang tinggi, misalnya untuk holografi. Dalam penelitian ini hendak ditentukan nilai panjang koherensi beberapa jenis laser dengan menggunakan metode interferometer Michelson. 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).

Koherensi

Koherensi adalah salah satu sifat gelombang yang dapat menunjukkan interferensi, yaitu gelombang tersebut selalu sama baik fase maupun arah penjarannya. 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 [1]. 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.

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 lebar 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 [2]. Panjang koherensi merupakan jarak sejauh mana gelombang dapat berinterferensi. Panjang koherensi suatu gelombang tertentu, seperti laser atau sumber lain dapat dijelaskan dari persamaan berikut:

$$L_c = c\tau_c = \frac{c}{\Delta\nu} \quad (1)$$

dengan L_c adalah panjang koherensi, τ_c koherensi waktu, c cepat rambat cahaya dalam ruang hampa, dan $\Delta\nu$ lebar spektrum [3]. Pengukuran L_c secara akurat tergantung dari keakuratan pengukuran $\Delta\nu$. Hal ini diperlukan peralatan spektroskopi yang memadai. Dalam penelitian ini, secara sederhana, hendak diukur L_c menggunakan interferometer Michelson. 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. Sehingga beda lintasan optis masing-masing berkas adalah [2]:

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

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 [4].

METODE PENELITIAN

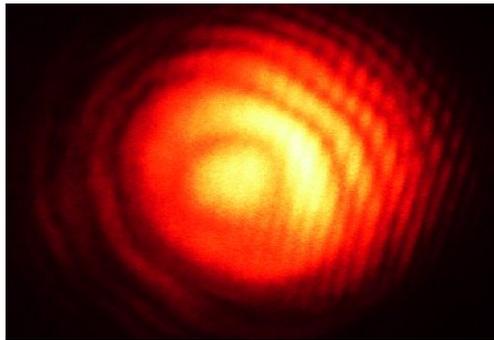
Metode interferometer Michelson yang digunakan mengacu pada referensi [5,6]. Langkah pertama yang harus dilakukan dalam penelitian ini adalah *alignment* peralatan interferometer Michelson dengan cara mengatur posisi laser, *beam splitter*, kedua cermin dan lensa agar sinar laser yang melewati semua 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*). Panjang L_2 diubah dengan menggeser *movable mirror* yang berada pada rel cermin. Penggeseran cermin tersebut berpengaruh terhadap pola interferensi yang dapat dilihat pada layar. Dengan persamaan (2) panjang koherensi (L_c) dapat ditentukan. Dalam penelitian ini digunakan dua laser He-Ne, yakni I dan II dengan $\lambda=632,8$ nm, Laser dioda merah I dengan $\lambda=645$ nm, serta laser dioda hijau II dengan $\lambda=532$ nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Panjang Koherensi Laser He-Ne

Pada gambar 1 ditunjukkan bentuk

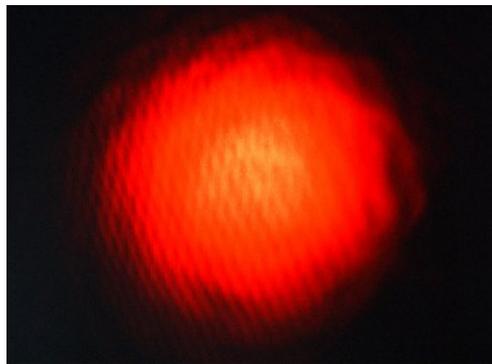
pola-pola interferensi dari interferometer Michelson dengan sumber laser He-Ne I.



(a)



(b)

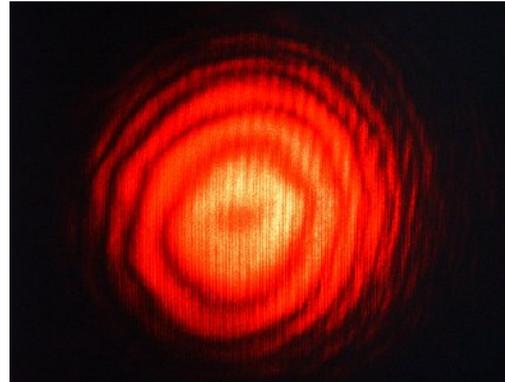


(c)

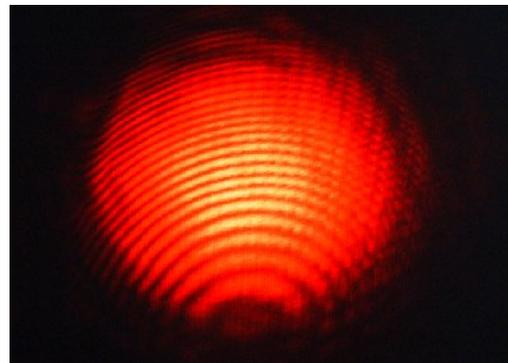
Gambar 1. Gambar pola interferensi laser He-Ne I dengan $\lambda=632,8$ nm, $L_c=(12,4\pm 0,3)$ cm; (a) pola interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.

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.

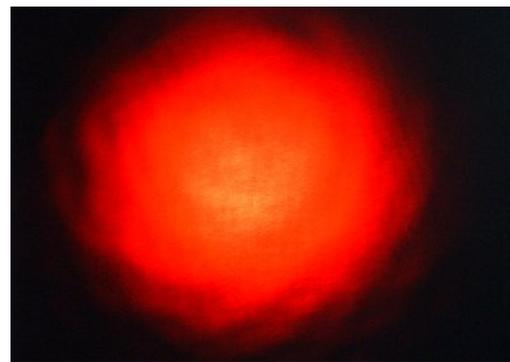
Hasil perhitungan pada laser He-Ne II diperoleh nilai L_1 sebesar $(18,02 \pm 0,02)$ cm, L_2 sebesar $(25,3 \pm 0,2)$ cm dan panjang koherensi laser He-Ne II (L_c) sebesar $(14,6 \pm 0,4)$ cm. Gambar 2.2 merupakan gambar pola interferensi pada laser He-Ne II.



(a)



(b)

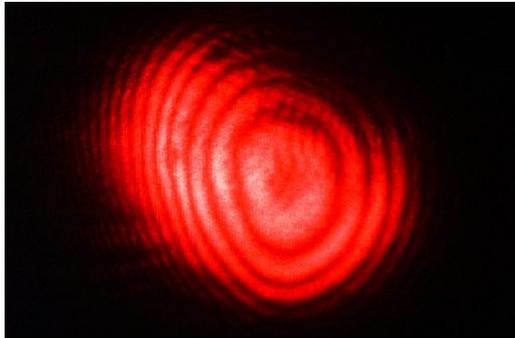


(c)

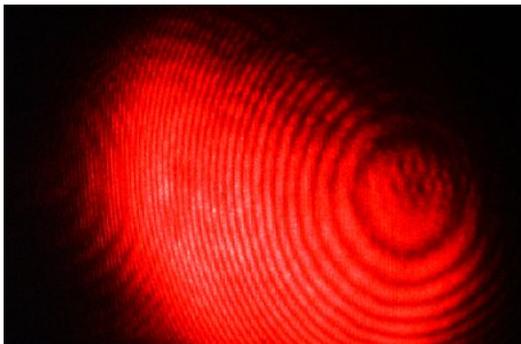
Gambar 2. Gambar pola interferensi laser He-Ne II dengan $\lambda=632,8$ nm, $L_c=(14,6\pm 0,4)$ cm; (a) pola Interferensi maksimum; (b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.

Panjang Koherensi Laser Dioda Merah

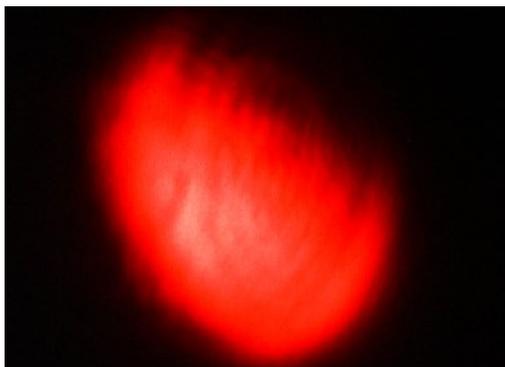
Laser dioda merah I yang memiliki panjang gelombang $\lambda = (645 \pm 2)$ nm diperoleh dari hasil pengukuran pada referensi [7]. Dari pengukuran diperoleh nilai L_1 sebesar $(16,53 \pm 0,02)$ cm dan L_2 sebesar $(25,05 \pm 0,08)$ cm, maka panjang koherensinya (L_c) adalah $(17,0 \pm 0,2)$ cm. Gambar 3 menampilkan pola frinji untuk masing-masing laser dioda merah I



(a)



(b)



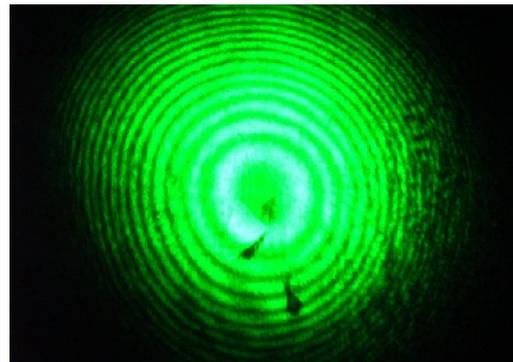
(c)

Gambar 3. Gambar pola interferensi Laser Dioda merah I dengan $\lambda = (645 \pm 2)$ nm [7], $L_c = (17,0 \pm 0,2)$ cm; (a) pola interferensi maksimum;

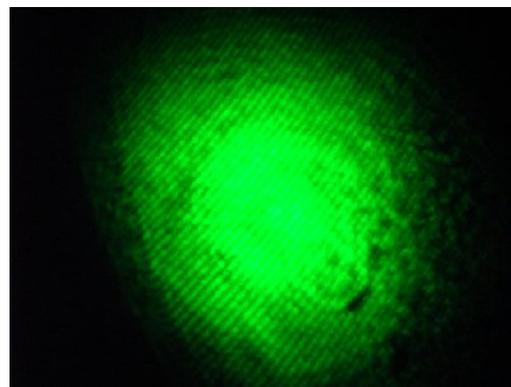
(b) perubahan pola frinji pada saat salah satu cermin digeser; (c) gambar ketika tidak lagi terjadi pola interferensi.

Panjang Koherensi Laser Dioda Hijau

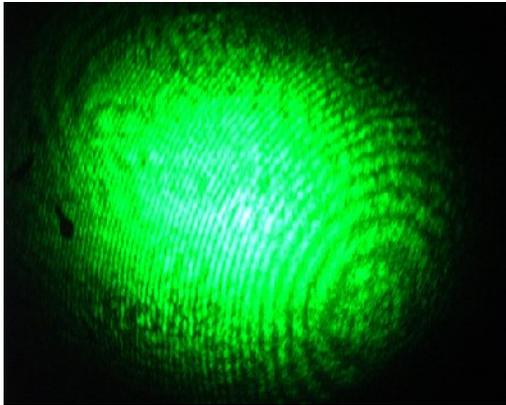
Sama halnya seperti pada pengukuran laser He-Ne dan laser dioda merah, perubahan panjang lintasan salah satu berkas pada interferometer Michelson dengan laser dioda hijau dengan panjang gelombang (543 ± 6) nm [7] mengakibatkan perubahan pola frinji. Dari pengukuran diperoleh nilai L_1 sebesar $(20,02 \pm 0,01)$ 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 4, dapat dilihat pola interferensi dari laser dioda hijau pada saat interferensi sempurna pada saat tidak terdapat pola interferensi pada layar.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 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.

Dari 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.

Hal yang sangat mengejutkan adalah panjang koherensi laser dioda merah yang lebih besar dari laser He-Ne. Biasanya, lebar spektrum frekuensi laser dioda merah cukup besar, sedangkan untuk laser He-Ne sangat kecil, meskipun tidak selamanya demikian. Hal ini bisa diakibatkan oleh kesalahan pengamatan pada frinji interferensi.

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laud, B.B., 1988, *Laser Dan Optik Non Linier*, Terjemahan Sutanto, penerbit UI Press, Jakarta.
- [2] Hecht, E., 1992, *Optics*, 2nd edition, Addison Wesley.
- [3] Ducharme, S., 2006, *Physics of Laser and Modern Optics*, Nebraska, University of Nebraska.
- [4] Paschotta, R., 2006, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, www.rp-photonics.com/coherence_length.html, 23/12/2007, 06:30 am.
- [5] Muhammad Adi, K. Sofjan Firdausi, Wahyu Setia Budi, *Berkala Fisika* 2007, ISSN: 1410-9662, vol.10, no.1, hal. 31-34, Januari.
- [6] Budiwati Sulistya, 2005, *Analisis Pengaruh Medan Magnet Terhadap Indeks Bias Bahan Menggunakan Interferometer Michelson*, Skripsi S1, Undip Semarang.
- [7] Falah, M., 2008, *Analisis Pola Interferensi pada Interferometer Michelson untuk Menentukan Panjang Gelombang Sumber Cahaya*, Semarang, Skripsi S-1 FMIPA UNDIP