

Pengukuran Panjang Gelombang Sumber Cahaya Berdasarkan Pola Interferensi Celah Banyak

Heri Sugito¹, Wahyu SB², K. Sofjan Firdausi², Siti Mahmudah³

1. Laboratorium Riset Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNDIP

2. Laboratorium Laser dan Optoelektronik Jurusan Fisika FMIPA UNDIP

3. Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UNDIP

Abstract

A research on the resolution of dark and light pattern of visible lights in multiple slit interference has been conducted. The slit's used were of 2 slit's, 3 slits, 4 slits and 8 slit's with spacing between slits is 0,0009 m and 0,00042 m.

Interference pattern on the screen is obtained by firing monochromatic (He-Ne laser and Diode laser) followed by polychromatic light source upon the slit's.

The results show that monochromatic light produce interference pattern that matched its emitted wavelengths while polychromatic light produce pattern of a rainbow type. Wider slit's results in wider spectrum where as move slits results in narrower and more intensive patterns.

Intisari

Telah dilakukan pengukuran panjang gelombang suatu sumber cahaya berdasarkan interferensi celah banyak. Celah yang digunakan adalah 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah dengan jarak antar celah 0,0009 m dan 0,00042 m.

Dengan menembakkan sumber cahaya monokromatik (laser He-Ne dan laser Dioda, kemudian diganti dengan sumber cahaya polikromatik ke celah akan dihasilkan pola-pola interferensi pada layar dengan jarak tertentu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sumber monokromatik menghasilkan pola-pola yang sesuai panjang gelombang yang dipancarkan, sumber polikromatik menghasilkan pola interferensi yang berbentuk spektrum pelangi. Jika jumlah celah diperbesar akan terjadi pelebaran spektrum. Jumlah celah yang lebih banyak menghasilkan pola intensitas semakin sempit dan intens.

Kata kunci : celah banyak, pola-pola interferensi

PENDAHULUAN

Spektroskopi menduduki tempat utama dalam baris depan perkembangan fisika abad ke-19 dan permulaan abad ke-20. Salah satu dari sejumlah bagian penting fisika yang berasal dari spektroskopi adalah optika [1]. Berbagai alat spektrometer berteknologi tinggi semakin banyak diciptakan, sehingga pengukurannya lebih cepat dan teliti. Banyak persoalan rumit dapat diselesaikan dengan mengetahui spektrum gelombang dari cahaya tersebut, seperti pengujian untuk mengetahui karakteristik suatu bahan.

Pengukuran spektrum cahaya tampak dapat dilakukan dengan metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan spektrometer terkini. Beberapa penelitian telah dilakukan, misalnya menggunakan metode interferometer

Michelson untuk menentukan panjang gelombang laser He-Ne dan diperoleh $\lambda = (625,7 \pm 8,2)\text{nm}$, sekaligus menentukan indeks bias cairan dalam berbagai larutan dengan konsentrasi yang berbeda [2]. Mutmainah (2003) telah melakukan penelitian untuk mengukur panjang gelombang cahaya dengan metode interferensi pada film tipis, dengan cara mempertemukan gelombang-gelombang pantul oleh permukaan tipis [3]. Metode interferometer lain yang dapat digunakan untuk mengukur panjang gelombang cahaya juga telah dilakukan oleh Riyanti (2003) yaitu dengan interferometer Young menggunakan cermin Lloyd, diperoleh $\lambda = (633,4 \pm 4,8)\text{nm}$ untuk laser He-Ne dan $\lambda = (646,3 \pm 4,9)\text{nm}$ untuk laser dioda. Namun pola-pola interferensi yang dihasilkan dengan metode ini terutama untuk sumber polikromatis masih belum optimal [4].

Efek interferensi pada gelombang cahaya tampak tidak mudah untuk diamati karena panjang gelombang mencapai sekitar $4 \times 10^{-7} \text{m}$ sampai $7 \times 10^{-7} \text{m}$. Kondisi dari gelombang cahaya harus memenuhi persyaratan, yaitu: sumber cahaya harus koheren, monokromatis dan menggunakan prinsip superposisi gelombang, agar efek interferensi dapat diamati [5].

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan [2-4], perubahan pola-pola interferensi yang dihasilkan digunakan untuk mengukur besarnya panjang gelombang suatu sumber cahaya. Namun saat itu dihasilkan pengukuran dengan ralat yang cukup besar. Sehingga perlu untuk dilakukan penelitian untuk mengukur panjang gelombang suatu sumber cahaya dengan metode celah banyak.

Metode pengukuran panjang gelombang cahaya dengan celah banyak selain dihasilkan pengukuran dengan ralat yang lebih kecil juga dapat diperoleh analisa resolusi pola-pola interferensi cahaya tampak.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan atau mengukur sebuah spektrum (panjang gelombang) suatu sumber cahaya menggunakan pola interferensi celah banyak serta mengetahui bentuk pola interferensi karena pengaruh jumlah celah yang berbeda.

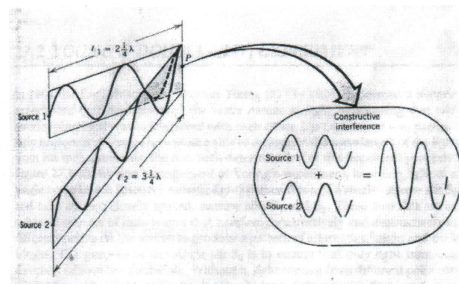
TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip Superposisi Gelombang Linier

Perambatan gelombang melalui ruang dapat digambarkan menggunakan metode geometris yang ditemukan oleh Christian Huygens kira-kira tahun 1678, yang dikenal sebagai prinsip Huygens atau konstruksi Huygens, yang berbunyi "Setiap titik pada bidang gelombang primer (utama) bertindak sebagai sumber anak gelombang skunder yang kemudian berkembang dengan laju dan frekuensi sama dengan panjang gelombang primernya" [6].

Prinsip dari superposisi gelombang linier adalah ketika dua atau lebih gelombang bergerak secara serempak menuju pada titik yang sama maka gelombang hasil didapat dari penjumlahan masing-masing gelombang individu [7].

Gambar 2.1 menggambarkan superposisi dua gelombang yang identik (sama panjang gelombang dan amplitudo) melintas pada titik P dalam fase puncak ke puncak dan lembah ke lembah. Menurut prinsip superposisi linier, gelombang menguatkan satu dengan yang lain akan terjadi interferensi konstruktif. Jumlah total gelombang pada titik P mempunyai amplitudo dua kali amplitudo gelombang individu dan ketajaman pada titik P lebih besar dari gelombang individu. Jarak sumber 1 ke 2 sumber ketitik P adalah berturut-turut l_1 dan l_2 yang berbeda sebesar λ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Pada titik P terjadi interferensi konstruktif jika selisih $l_1 - l_2 = m\lambda$, dengan $m=0,1,2,3,\dots$ [7].



Gambar 1 Gelombang dipancarkan oleh sumber 1 dan 2 dan bertemu pada titik P, [7]

Jika dua gelombang identik yang mempunyai beda fase tidak tetap, bertemu pada titik P, atau gelombang terjadi dari puncak ke lembah, dan gelombang saling menghilangkan, menurut prinsip superposisi linier akan terjadi interferensi destruktif, yang berarti tidak ada ketajaman [8].

Persamaan dari dua gelombang yang mempunyai frekuensi dan amplitudo sama pada arah sumbu x, yang satu mempunyai jarak Δ lebih awal adalah:

$$\begin{aligned} Y_1 &= A \sin(\omega t - kx) \\ Y_2 &= A \sin(\omega t - k(x + \Delta)) \end{aligned} \quad (1)$$

Dengan A adalah amplitudo, ω merupakan frekuensi sudut, dan k adalah bilangan

gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$.

Dengan prinsip superposisi, hasil penjumlahan dari dua gelombang tersebut menjadi:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

$$= A \{ \sin(\omega t - kx) + \sin(\omega t - k(x + \Delta)) \}$$

$$= 2A \cos(k\Delta/2) \sin[\omega t - k(x + \Delta/2)] \quad (2)$$

Persamaan 2 merupakan persamaan gelombang yang baru dengan frekuensi yang sama tetapi dengan amplitudo sebesar $2A \cos(k\Delta/2) = 2A \cos(\pi\Delta/\lambda)$. Ketika Δ kecil maka amplitudo akan mendekati $2A$, jika Δ bernilai

$\frac{1}{2}\lambda$ maka nilai amplitudonya sama dengan nol [9].

Pola Interferensi Dua Celah

Dalam percobaan yang dilakukan oleh Thomas Young pada tahun 1801, beliau memperagakan sifat gelombang cahaya, dua sumber cahaya yang koheren di hasilkan dengan menerangi dua celah sejajar dengan sumber cahaya tunggal [6]. Di anggap bahwa setiap celah sangat sempit. Pada percobaan Young setiap celah bertindak sebagai sumber garis, yang ekivalen dengan sumber titik dalam dua dimensi. Pola interferensi diamati pada layar yang jauh dari celah tadi, yang dipisahkan sejarak d . pada jarak yang sangat jauh dari celah, garis-garis dari kedua celah ke satu titik P di layar akan hampir sejajar, dan perbedaan lintasan kira-kira $d \sin \theta$, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Dengan demikian terdapat interferensi maksimum pada suatu sudut yang diberikan oleh:

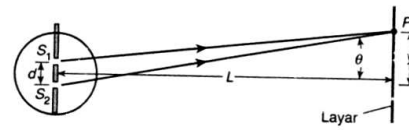
$$d \sin \theta = n\lambda \quad n = 0,1,2,\dots \quad (3)$$

interferensi minimum terjadi di

$$d \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad n = 0,1,2,\dots \quad (4)$$

Untuk sudut yang kecil, yang diukur di sepanjang layar rumbeil terang ke- n [6] jarak di antara dua rumbai terang berurutan diberikan oleh persamaan:

$$y_n = n \frac{\lambda L}{d} \quad (5)$$



Gambar 2 Konfigurasi interferensi 2 celah dari Young [6]

Untuk menghitung intensitas cahaya pada layar di titik sembarang P, perlu ditambahkan dua fungsi gelombang harmonik yang berbeda fase. Misalkan E_1 merupakan medan listrik disebarkan titik P pada layar akibat gelombang dari celah 1, dan misalkan E_2 merupakan medan listrik pada titik P akibat gelombang dari celah 2. karena sudut yang diperhatikan ini kecil, dapat dianggap bahwa medan ini sejajar dan hanya memperhatikan besarnya saja. Kedua medan listrik beresilasi dengan frekuensi yang sama (karena keduanya berasal dari sumber tunggal yang menerangi kedua celah) dan keduanya memiliki amplitudo yang sama. (perbedaan lintasan sebagian besar hanya dalam orde beberapa panjang gelombang cahaya). Keduanya memiliki perbedaan fase δ yang diberikan oleh persamaan 2.5 [6]. Jika diberikan fungsi gelombang ini dengan

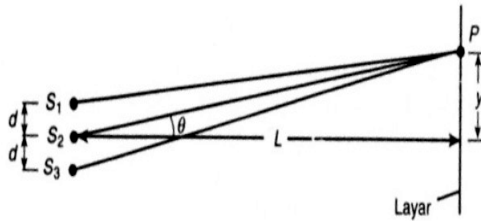
$$E_1 = A_0 \sin \omega t \quad \text{dan} \quad E_2 = A_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (6)$$

Fungsi gelombang resultan adalah

$$E = 2A_0 \cos \frac{1}{2} \delta \sin \left(\omega t + \frac{1}{2} \delta \right) \quad (7)$$

Karena intensitas sebanding dengan kuadrat amplitudonya [6], intensitas pada sembarang titik P adalah

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{1}{2} \delta \quad (8)$$

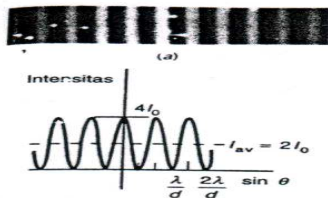


Gambar 3 Pola interferensi yang diamati pada layar dari dua celah [6]

Gambar 3 menunjukkan pola intensitas seperti yang terlihat pada layar. Suatu grafik intensitas sebagai fungsi $\sin \theta$ ditunjukkan pada gambar 2.3b. Untuk θ yang kecil, ini ekuivalen dengan melukiskan intensitas terhadap y karena $y = L \sin \theta$. Intensitas I_0 adalah intensitas dari setiap celah secara terpisah. Garis putus-putus menunjukkan intensitas rata-rata $2I_0$ yang merupakan hasil perataan sejumlah maksimum dan minimum [6].

Pola Interferensi dari Tiga atau Lebih Sumber Berjarak Sama

Jika terdapat tiga sumber atau lebih yang berjarak sama dan sefase satu sama lain, pola intensitas pada layar yang jauh akan serupa dengan pola yang diberikan oleh dua sumber, tetapi ada beberapa perbedaan penting. Kedudukan maksima intensitas di layar adalah sama tanpa memandang berapa banyak sumber yang ada, tetapi maksima ini memiliki intensitas yang lebih terang dan lebih tajam jika terdapat banyak sumber [6].



Gambar 4 Geometri dari tiga sumber yang berjarak sama dan sefase [6]

Gambar 4 menunjukkan keadaan untuk tiga sumber. Geometrinya sama seperti untuk

dua sumber. Bentuk ketiga gelombang dari 3 celah [6] adalah sebagai berikut

$$E_1 = A_0 \sin \alpha$$

$$E_2 = A_0 \sin(\alpha + \delta) \tag{9}$$

$$E_3 = A_0 \sin(\alpha + 2\delta)$$

Seperti pada kasus dua-celah, diperoleh resultan medan listrik untuk 3 sumber

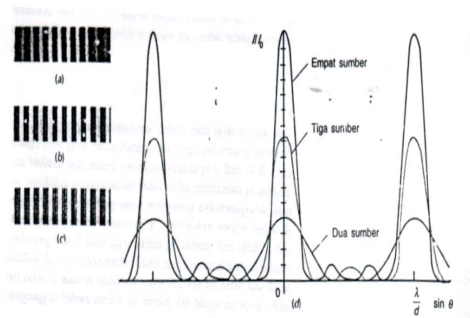
$$E = 3A_0 \cos \frac{1}{2} \delta \tag{10}$$

Untuk 4 sumber diperoleh

$$E = 4A_0 \cos \frac{1}{2} \delta \tag{11}$$

Untuk 8 sumber diperoleh persamaan resultan medan listrik

$$E = 8A_0 \cos \frac{1}{2} \delta \tag{12}$$

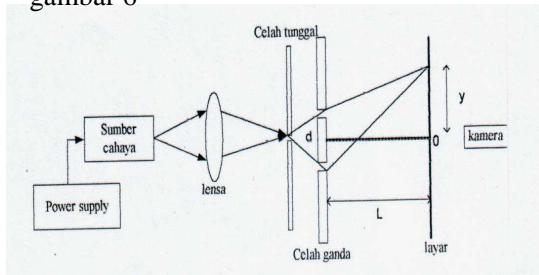


Gambar 5 Pola intensitas untuk (a) dua, (b) tiga, (c) empat sumber koheren yang berjarak sama [6]

Gambar 5c menunjukkan pola intensitas untuk dua sumber yang berjarak sama, tiga sumber berjarak sama, dan empat sumber berjarak sama. Pada gambar 5d, I_0 merupakan intensitas akibat setiap sumber yang bekerja sendiri-sendiri. Untuk tiga sumber terdapat maksima sekunder yang kecil diantara setiap pasang maksima utama, dan maksima utama lebih tajam dan lebih besar intensitasnya daripada untuk dua sumber saja. Untuk empat sumber, terdapat dua maksima sekunder di antara setiap pasang maksima prinsipal, dan maksima prinsipal bahkan lebih sempit dan intens [6].

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian disusun seperti yang terlihat pada gambar 6



Gambar 6 Skema peralatan penelitian interferensi celah banyak

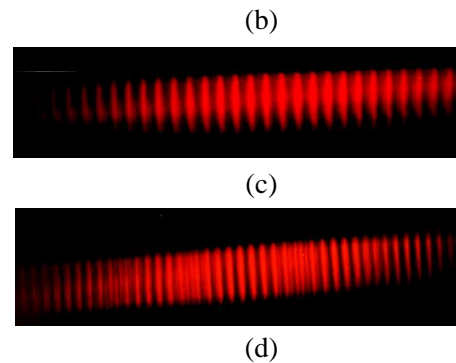
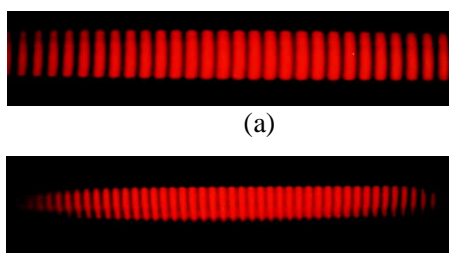
Pada system peralatan ini terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu sumber cahaya (laser He-Ne, laser Dioda, lampu pijar, lampu halogen) yang akan di ukur panjang gelombangnya, lensa untuk memfokuskan berkas sumber cahaya, celah tunggal untuk menghasilkan sumber cahaya yang koheren, celah banyak untuk menghasilkan pola-pola interferensi, layar untuk menangkap pola interferensi yang dihasilkan, kamera untuk merekam pola interferensi.

Ketika sebuah sumber cahaya ditembakkan ke sebuah celah tunggal, menghasilkan sumber cahaya yang koheren, dan terdifraksi. Setelah sumber melalui celah tunggal, kemudian dilewatkan ke celah banyak. Pola interferensi yang dihasilkan dapat diamati pada layar.

HASIL DAN ANALISA

Pola-Pola Interferensi Dengan 2 Celah, 3 Celah, 4 Celah dan 8 Celah

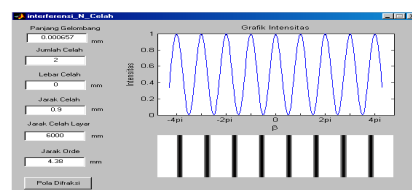
Pada laser dioda, pola interferensi yang teramati tidak seperti laser He-Ne, karena pada laser dioda yang digunakan pada penelitian ini mempunyai spektrum yang melebar yaitu pada panjang gelombang 630 sampai 680 nm.



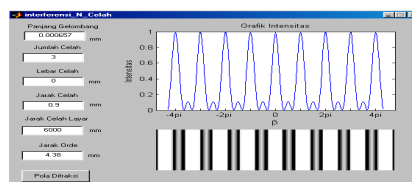
Gambar 8 Hasil dari pola interferensi. (a) dengan 2 celah, (b) 3 celah, (c) 4 celah, (d) 8 celah, Masing-masing pada $L=6m$, $d=0,9mm$, dan $\Delta y=0,014m$

Pada interferensi dengan 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah dengan laser He-Ne dan laser dioda dihasilkan bentuk frinji yang berbeda. Pada interferensi dengan 2 celah didapat frinji yang lebih rapat. Sedangkan pada interferensi dengan 8 celah didapat frinji yang agak renggang antara terang pertama ke terang yang ke-n.

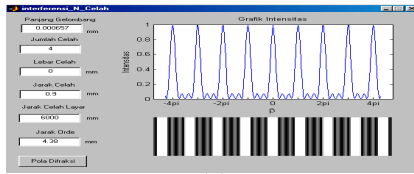
Pada interferensi dengan 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah dengan laser He-Ne dan laser dioda dihasilkan bentuk frinji yang berbeda. Pada interferensi dengan 2 celah didapat frinji yang lebih rapat. Sedangkan pada interferensi dengan 8 celah didapat frinji yang agak renggang antara terang pertama ke terang yang ke-n. Pola-pola intensitas interferensi dengan 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah dapat dilihat pada gambar 4.2.



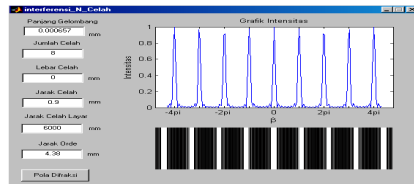
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 9 Simulasi Pola Interferensi N celah, $d = 0,0009$ m, $n=1$, $\lambda = 6,57 \times 10^{-7}$ m, $L=6$ m. (a) 2 celah, (b) 3 celah, (c) 4 celah, (d) 8 celah [10]

Gambar 9a-d menunjukkan pola intensitas yang berjarak sama, 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah. Untuk tiga sumber atau 3 celah, terdapat maksimum sekunder yang kecil diantara setiap maksimum utama, dan maksima utama lebih tajam dan lebih besar intensitasnya daripada untuk dua sumber. Untuk empat sumber, terdapat dua maksima sekunder di antara setiap pasang maksima utama, dan maksima utama lebih sempit jika dibandingkan dua sumber atau tiga sumber. Untuk delapan sumber, tampak intensitas yang lebih tajam dan lebih sempit maksima utamanya dan terdapat maksima sekunder yang lebih banyak dan kecil. Dengan meningkatkan jumlah sumber atau jumlah celah, intensitasnya makin lama makin terkonsentrasi di maksima utama dan maksima ini menjadi lebih sempit.

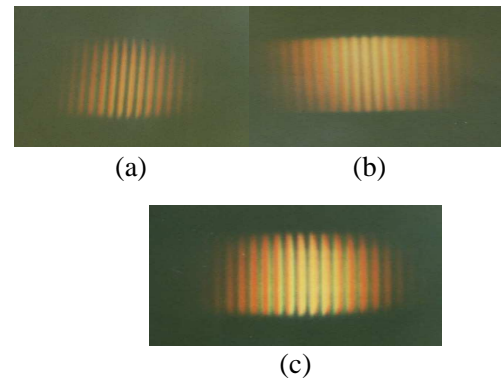
Menentukan Panjang Gelombang Laser He-Ne dan Dioda

Pengukuran panjang gelombang laser He-Ne dengan menggunakan 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah dilakukan dengan memvariasi jarak layar. Panjang gelombang dipengaruhi oleh jarak antar celah, jarak frinji terdekat dan jarak layar. Faktor dominan yang berperan dari ketiga factor tersebut adalah jarak antar celah (d). Pembuatan celah yang tidak presisi jarak antar

celahnya, menghasilkan frinji yang berbeda sehingga mempengaruhi pengukuran jarak frinji terdekat. Hasil perhitungan untuk menentukan panjang gelombang laser He-Ne dan dioda, diperoleh $\lambda = (6,344 \pm 0,016)$ nm untuk laser He-Ne, sedangkan untuk laser dioda diperoleh $\lambda = (6,450 \pm 0,016)$ nm.

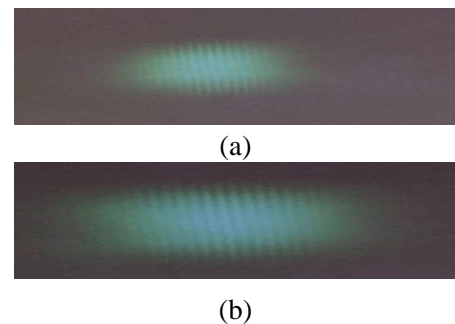
Pola-Pola Interferensi dengan Sumber Lampu Pijar dan Halogen

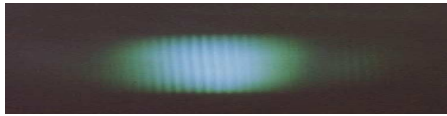
Lampu pijar dengan bahan wolfram merupakan sumber cahaya polikromatis, sehingga tidak koheren. Pada pengamatan pola-pola interferensi, diperoleh berbagai spektrum warna yang bervariasi. Hasil pola interferensi lampu pijar ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Pola Interferensi Lampu Pijar, (a) 2 celah, (b) 3 celah, (c) 4 celah masing-masing pada $L=6$ m, $d=0,00042$ m

Gambar 10 merupakan hasil pola interferensi dari lampu halogen yang teramati. Pada saat jarak sumber dengan layar 3 m maka pola yang teramati adalah spektrum putih yang dominan. Tetapi ketika digeser pada jarak 6 m warna-warna putih terdispersi menjadi warna hijau dan putih.





(c)

Gambar 10 Pola Interferensi Lampu Halogen, $d = 0,00042$ m, $L = 6$ m.

(a) 2 celah, (b) 3 celah, (c) 4 celah

Menentukan Panjang Gelombang Lampu Pijar dan Lampu Halogen

Hasil pengukuran panjang gelombang lampu pijar dan lampu halogen ditunjukkan pada tabel 1

Tabel 1 Hasil pengukuran panjang gelombang lampu pijar dan lampu halogen

Sumber	Spektrum	λ (nm)
Lampu pijar	Biru	$(4,20 \pm 0,30)$
	Hijau	$(4,80 \pm 0,30)$
	Merah	$(6,60 \pm 0,30)$
Lampu halogen	Biru	$(4,20 \pm 0,30)$
	Hijau	$(5,40 \pm 0,30)$
	Kuning	$(5,40 \pm 0,30)$
	Merah	$(6,00 \pm 0,30)$

Pengukuran panjang gelombang untuk berbagai spektrum warna tersebut dilakukan dengan menggunakan filter warna biru, hijau, kuning dan merah. Lampu pijar dan lampu halogen yang bersifat polikromatik, ketika diberikan filter sebelum berkas cahaya dilewatkan pada celah akan dihasilkan pola interferensi yang sesuai dengan filter yang digunakan.

Hasil dari eksperimen yang ada di tabel 1 masih dalam *range* harga referensi. Hasil tersebut dapat dibandingkan dengan aproksimasi jangkauan panjang gelombang berbagai warna dalam spektrum cahaya tampak pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 2 Aproksimasi jangkauan panjang gelombang berbagai warna dalam spektrum cahaya tampak [11]

warna	Aproksimasi Jangkauan Panjang Gelombang	
	nm	Å
Ungu	380 – 450	3800 – 4500
Biru	450 – 490	4500 – 4900
Hijau	490 – 560	4900 – 5600
Kuning	560 – 590	5600 – 5900
Jingga	590 – 630	5900 – 6300
merah	630 - 760	6300 - 7600

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran panjang gelombang suatu sumber cahaya dengan metode celah banyak tidak tergantung pada jumlah celah tetapi tergantung pada jarak antar celah
2. Pada pola interferensi yang dihasilkan dengan 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah, akan terjadi penajaman dan penyempitan maksima utama pada pola interferensi
3. Pada interferensi dengan sumber cahaya polikromatik, lampu pijar dan lampu halogen dihasilkan pola-pola interferensi yang berupa spektrum warna. Hal ini membuktikan bahwa lampu pijar dan lampu halogen tersusun dari berbagai macam panjang gelombang

Saran

Melihat hasil dari penelitian yang telah dilakukan perlu dilakukan penelitian dengan memvariasi jumlah celah yang lebih banyak, dan sumber cahaya polikromatik yang bervariasi. Selain itu, diperlukan juga penggunaan mikrometer untuk mengukur variable-variabel yang digunakan dalam pengolahan data penelitian sehingga didapat ketelitian pengukuran yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Laud, B. B., 1988, "Laser dan Optika Non Linier", UI Press, Jakarta
- [2]. Suprayitno, 1997, "Penelitian Panjang Gelombang dan Indeks Bias Udara dengan Metode Interferometer Michelson", Skripsi S-1, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3]. Mutmainah, Nur, 2003, "Studi Pengaruh Ketebalan dan Indeks Bias Film Terhadap Frinji Interferensi", Skripsi S-1, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4]. Riyanti, One, 2003, "Analisis Pola Keluaran Interferometri Young menggunakan Cermin Lloyd", Skripsi S-1, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5]. Serway. A.R and Faugh, J.S., 1989, "College Physics: Second Edition", Amerika Serikat.
- [6]. Tipler, P. A., 2001, "Fisika untuk Sains dan Teknik, Jilid 2: Edisi 3, Penerjemah: Dr. B. Soegijono", Jakarta, Penerbit Erlangga.
- [7]. Cutnell dan Johnson, 1995, "Physics: Third Edition", Amerika Serikat, John Wiley & Sons Inc.
- [8]. Bueche, F. J., 1998, "Principles of Physics: Fifth Edition", Amerika Serikat.
- [9]. Jenkins, F. A dan White, H. E., 1976, "Fundamental of Optics", Amerika Serikat, Mc Graw-Hill Inc.
- [10]. Mahmudah, Siti, 2004, "Simulasi Pola-Pola Difraksi Franhoufer Menggunakan Matlab 6.5", Skripsi S-1, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [11]. Giancoli, Douglas, C., 2001, "Fisika Jilid 2: Edisi Kelima", Jakarta, Penerbit Erlangga.