

PHYSICS LABORATORY INSTRUCTION MANUAL

Oleh
Drs. P. Sinaga M Si

Jurusan pendidikan Fisika
FP MIPA
Universitas Pendidikan Indonesia

Daftar Isi

- 1. PENGUKURAN PANJANG GELOMBANG SINAR LASER DIODA DENGAN MENGGUNAKAN COMPACT DISC SEBAGAI KISI REFLEKSI.**
- 2. MENGUKUR DIVERGENSI BERKAS LASER**
- 3. INTERFERENSI MENGGUNAKAN KISI PENGGARIS**
- 4. KURVA I-V dari LASER DIODA**
- 5. HUKUM STEPHAN BOLTZMANN**
- 6. CEPAT RAMBAT GELOMBANG BUNYI DI UDARA (GELOMBANG BERDIRI BUNYI)**
- 7. CEPAT RAMBAT GELOMBANG BUNYI DI UDARA**
- 8. CEPAT RAMBAT CAHAYA DALAM MEDIUM GELAS**
- 9. SEL SURYA (EFEK PHOTOVOLTAIC)**
- 10. SISTEM KOMUNIKASI LASER ANALOG**
- 11. POLARIZER TIPE POLAROID**
- 12. POLARIZER TIPE REFLEKSI**
- 13. INDEKS BIAS CORE FIBER OPTIK**
- 14. ENERGI BANDGAP SEMIKONDUKTOR**

I. Pengukuran Panjang Gelombang Sinar Laser Dioda dengan Menggunakan Compact Disk sebagai Kisi Refleksi.

Tujuan :

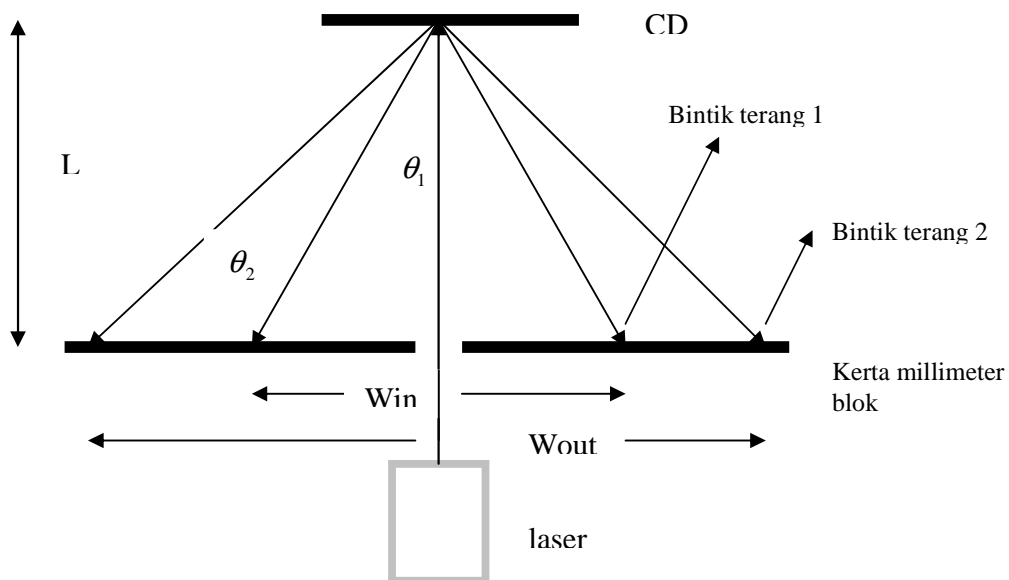
1. Menentukan jarak antar dua track terdekat pada CD
2. Menentukan panjang gelombang laser dioda
3. Menentukan spectrum dari berbagai jenis LED.

Peralatan

1. Laser helium neon (output < 1mW)
2. Laser dioda (output < 1 mW)
3. CD
4. penggaris.
5. Kertas millimeter blok
6. berbagai jenis LED
7. Lensa konvergen
8. Power suplai DC

Teori

Skema percobaan



Syarat untuk bintik terang (bright spots)

$$d \sin \theta_n = m\lambda$$

Untuk bintik terang 1

$$d \sin \theta_1 = \lambda$$

1

Untuk bintik terang 2

$$d \sin \theta_2 = 2\lambda$$

2

Dari persamaan 1 dan 2 maka

$$d(\sin \theta_1 - \sin \theta_2) = \lambda \quad 3$$

Berdasarkan gambar skema percobaan diperoleh

$$\sin \theta_1 = \frac{\frac{W_{in}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{W_{in}}{2}\right)^2 + L^2}} \quad 4$$

$$\sin \theta_2 = \frac{\frac{W_{out}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{W_{out}}{2}\right)^2 + L^2}} \quad 5$$

Dari persamaan 3,4,5 maka jarak antar track terdekat d pada CD ialah

$$d = \frac{\lambda}{\left\{ \frac{\frac{W_{out}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{W_{out}}{2}\right)^2 + L^2}} - \frac{\frac{W_{in}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{W_{in}}{2}\right)^2 + L^2}} \right\}} \quad 6$$

Dari persamaan 6 maka panjang gelombang sinar laser dioda dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$\lambda = d \left\{ \frac{\frac{W_{out}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{W_{out}}{2}\right)^2 + L^2}} - \frac{\frac{W_{in}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{W_{in}}{2}\right)^2 + L^2}} \right\} \quad 7$$

Prosedur Percobaan

A. Menentukan jarak antar track terdekat d pada CD

1. Tempatkan keeping CD pada mount (pemegangnya)
2. Tempatkan layar (kertas millimeter blok) yang sudah diberi lubang kira kira 5-7 cm didepan keeping CD , usahakan layar parallel dengan permukaan keeping CD
3. Tempatkan laser He-Ne dibelakang layar (dibawah lubang layar) sedemikian hingga cahaya dari laser datang tegak lurus pada permukaan CD
4. Ukur dan catat L jarak antara layar dan keeping CD
5. Hidupkan laser dan tandai titik titik dimana laser mengalami interferensi konstruktif (bintik terang) pada layar
6. ukur Win dan Wout

7. Tentukanlah jarak antar track terdekat d pada keeping CD dengan menggunakan persamaan 6
- B. Menentukan panjang gelombang sinar laser diode.
1. Tempatkan keeping CD pada mount (pemegangnya)
 2. Tempatkan layer (kertas millimeter blok) yang sudah diberi lubang kira kira 5-7 cm didepan keeping CD , usahakan layer parallel dengan permukaan keeping CD
 3. Tempatkan laser dioda dibelakang layar (dibawah lubang layar) sedemikian hingga cahaya dari laser dioda datang tegak lurus pada permukaan CD
 4. Ukur dan catat L jarak antara layar dan keeping CD
 5. Hidupkan laser dan tandai titik titik dimana laser dioda mengalami interferensi konstruktif (bintik terang) pada layar
 6. ukur W_{in} dan W_{out}
 7. Hitunglah panjang gelombang laser dioda dengan menggunakan persamaan 7
- C. Menentukan spectrum sumber cahaya lain seperti lampu merkuri ,lampu sodium dan berbagai jenis LED.
- Langkah percobaan sama seperti pada bagian B namun pada langkah 3 sinar laser diganti dengan sumber cahaya lain seperti LED ,lampu merkuri atau lampu natrium . Supaya sinar dari sumber cahaya parallel maka diantara lubang layar dan sumber cahaya ditempatkan lensa konvergen.

II.MENGUKUR DIVERGENSI BERKAS LASER

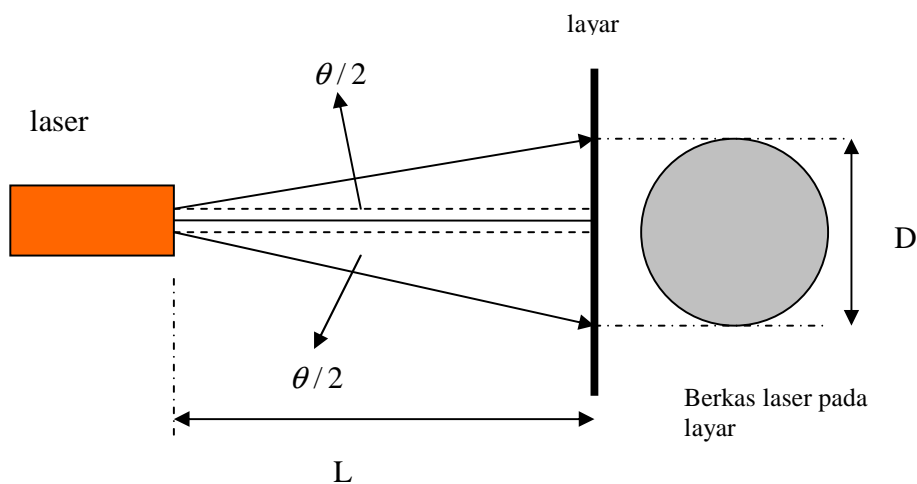
- Tujuan :**
- 1.Mempelajari salah satu karakteristik dari berkas laser yaitu beam divergence
 - 2.Membandingkan beam divergence dari laser He-Ne dengan laser dioda
 3. Mempelajari cara mereduksi beam divergence

Peralatan

1. Laser dioda dengan $P_{out} < 1mW$ dan power supply baterai 3V
2. Laser He-Ne dengan $P_{out} < 1mW$
3. Layar
4. Penggaris dan pita meteran
5. Dua lensa konvergen dengan jarak focus f panjang dan pendek

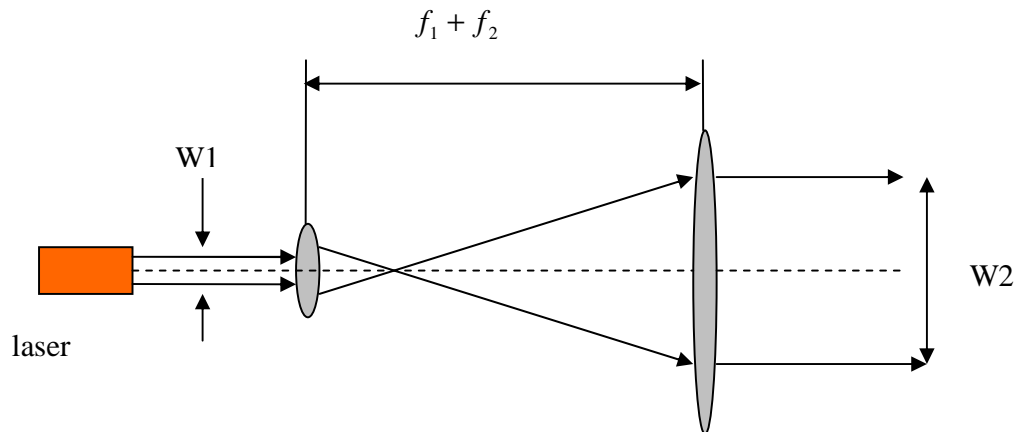
Prosedur Percobaan

Percobaan ini sebaiknya dilakukan diruang gelap atau di koridor yang cukup panjang dengan lampu dimatikan



- A. Menentukan beam divergensi berkas laser He-Ne
1. Pasang layar dan letakan didepan laser He-Ne sedemikian hingga berkas sinar laser jatuh tegak lurus pada permukaan layar.
 2. Hidupkan laser lalu gerakan layar pada beberapa posisi dari posisi terdekat hingga posisi terjauh dari laser.
 3. Untuk setiap posisi layar dari laser, ukur jarak laser ke layar L dan diameter berkas laser pada layar D ,catat hasilnya pada lembar data.
 4. Gambarlah grafik hubungan D (mm) terhadap L (mm)
 5. tentukanlah kemiringan grafiknya
 6. Tentukanlah sudut divergensi berkas laser . sudut divergensi sama dengan kemiringan grafik namun dinyatakan dalam satuan radians

- B. Menentukan beam divergensi berkas laser dioda.
Langkah percobaannya 1-6 sama ,namun laser He-Ne diganti dengan laser dioda.
- C. Membuat beam expander (telecope Kepler)



Gb.Beam Expander

Jika jarak antara dua lensa sama dengan jumlah panjang focus dua lensa maka hubungan antara lebar berkas pancaran W_2 terhadap lebar berkas sinar datang W_1 dinyatakan oleh

$$W_2 = \left(\frac{f_2}{f_1} \right) W_1$$

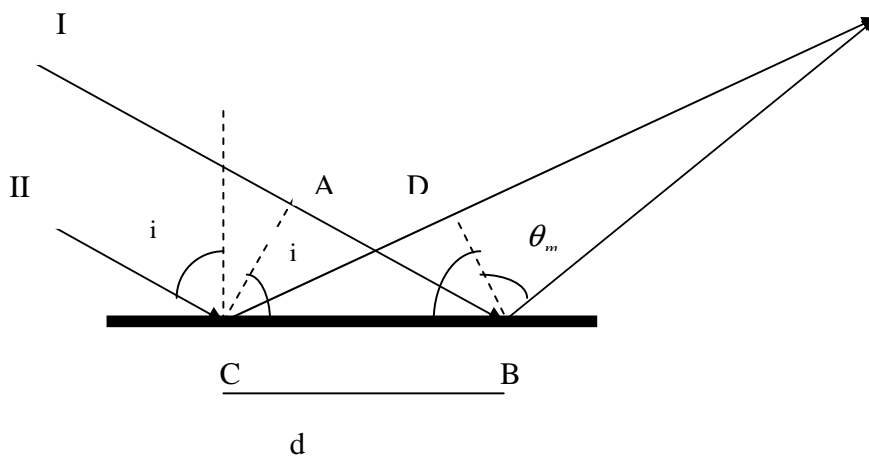
1. Lakukan langkah percobaan seperti pada bagian A yaitu untuk menentukan beam divergence namun dengan dengan sumber laser dari beam expander
2. Jelaskan perbedaan (apabila ada) antara beam divergence dari laser dan dari beam expander

III. INTERFERENSI MENGGUNAKAN PENGGARIS

Tujuan : Menentukan panjang gelombang sinar laser dengan menggunakan penggaris sederhana sebagai kisi difraksi

Teori

Berikut ini gambar interferensi cahaya yang berasal dari hamburan penggaris di dua titik yang ditandai



Syarat supaya sinar hamburan I dan II berinterferensi konstruktif, maka beda lintasan optik antara sinar I dan sinar II haruslah merupakan kelipatan dari panjang gelombangnya

$$AB - CD = n\lambda$$

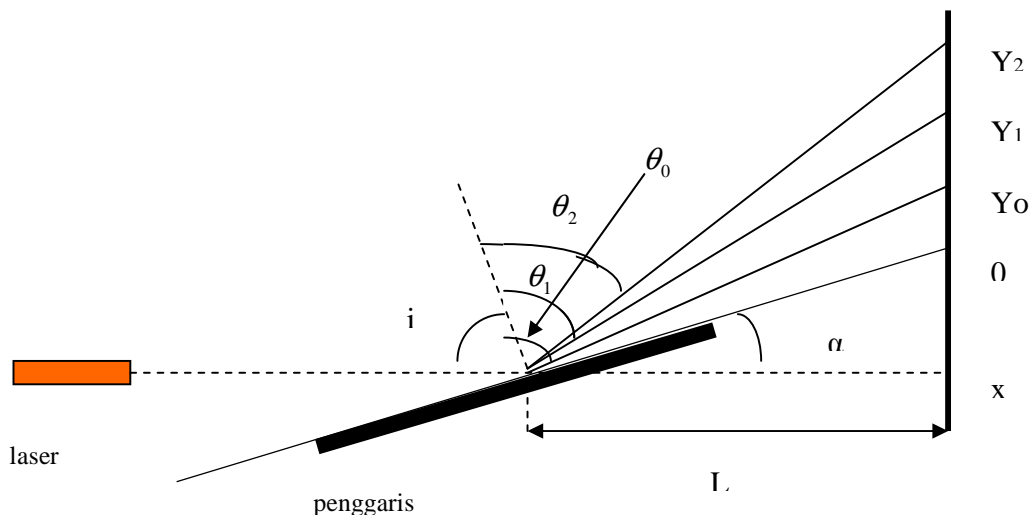
$$d \sin i - d \sin \theta_m = n\lambda$$

Jadi interferensi konstruktif pada layar terjadi apabila

$$n\lambda = d(\sin i - \sin \theta_m)$$

1

Set up eksperimen



Gb.2

Titik x adalah titik jatuhnya sinar laser dilayar ketika penggaris belum dipasang.

Titik Y_0 adalah titik terang pertama ,jaraknya diukur dari titik x

Titik 0 adalah $\frac{1}{2}$ jarak antara x dan Y_0 . Titik 0 ini merupakan titik nol untuk pengukuran jarak $Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_n$

Sudut i adalah sudut antara berkas sinar laser hamburan terhadap garis tegak lurus terhadap penggaris (garis normal)

Sudut θ_m adalah sudut antara berkas sinar laser hamburan terhadap garis normal

Jarak d adalah jarak terpendek antara dua titik terang yang berdekatan pada layar

Jarak L adalah jarak dari penggaris tempat titik dimana laser datang pada penggaris ke layar

Sudut α adalah sudut kecil (2-6)derajat.

Berdasarkan persamaan 1 dan perhitungan geometri dapat ditunjukkan bahwa syarat untuk interferensi konstruktif ialah

$$n\lambda = \frac{0,5d(Y_n^2 - Y_0^2)}{L^2}$$

Prosedur Percobaan

1. Susun alat seperti gambar 2
2. Nyalakan sinar laser lalu tandai jatuhnya sinar dilayar (titik x)
3. Pasang penggaris pada mount sedemikian hingga berkas sinar laser akan membuat sudut kecil dengan penggaris
4. Ukur jarak L
5. Tandai pada layar titik terang Y_0, Y_1, Y_2, \dots
6. Ukur jarak terkecil antara dua titik terang yang berdekatan(bersebelahan) d

7. Ukur jarak tiap titik terang masing masing terhadap titik x
8. Hitung jarak titik 0 terhadap titik x
9. Hitung $Y_n^2 - Y_o^2$
10. Gambar grafik hubungan antara $Y_n^2 - Y_o^2$ sebagai fungsi dari n (skala vertical 1cm untuk tiap 500 mm^2 dan skala horizontal 1cm untuk 1m)
11. Hitunglah kemiringan dari grafik yang diperoleh
12. Tentukanlah harga panjang gelombang sinar laser dari kemiringan grafik tersebut

$$\lambda = \frac{\text{slop}.d}{2L^2} . 10^6 \text{ nm}$$

Ctt. Sebagai perbandingan panjang gelombang laser He-Ne ialah 6328 Angstrom

IV. KURVA I-V dari LASER DIODA

Tujuan :

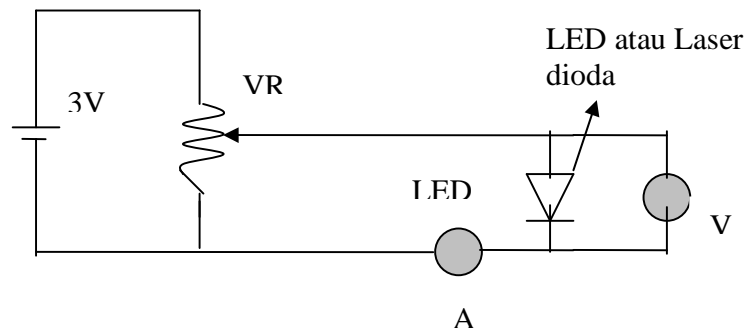
1. Mempelajari bentuk kurva I-V dari laser dioda dan LED
2. Menentukan tegangan “turn on “ dari laser dioda dan LED
3. Menentukan Lasing Threshold voltage dari laser dioda
4. Menentukan kebergantungan dari daya laser yang dipancarkan sebagai fungsi dari tegangan untuk laser dioda dan LED.

Alat dan bahan

1. Laser dioda dengan daya output lebih kecil dari 1 mW
2. LED merah
3. Potensiometer 200 Ohm
4. Baterai 1,5 V
5. Kabel penghubung dan jepit buaya
6. Volt meter 2 buah dan Ameter 1 buah
7. Optical power meter

Prosedur Percobaan

1. Buatlah rangkaian listrik DC yang skema diagramnya sebagai berikut

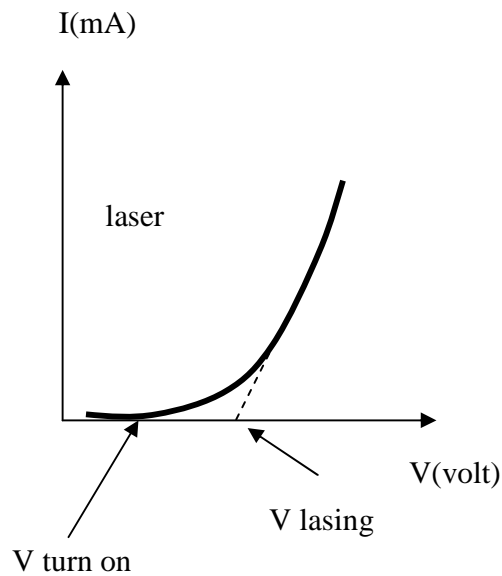
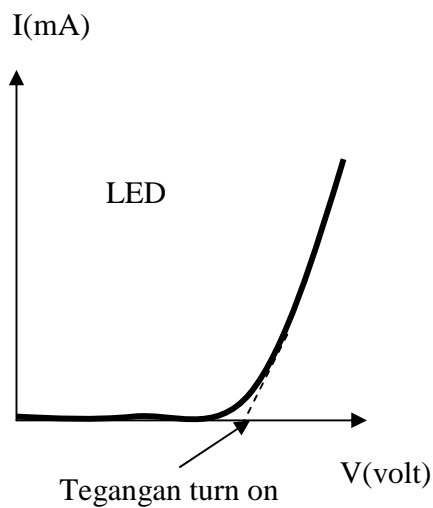


2. Secara terpisah, hubungkan Voltmeter kedua pada kaki kaki optical power meter dan di 'on' kan . Atyrlah agar optical power meter berada sedekat mungkin dengan laser dioda atau LED ,sedemikian hingga cahaya dari laser dioda atau LED langsung masuk pada lubang pada optical power meter. (untuk LED dapat juga LED dimasukan langsung kedalam lubang optical powere meter)
3. Nyalakan (On kan)Ametre dan Voltmeter pada rangkaian ,lalu ubah suplai tegangan pada laser (LED) secara perlahan lahan dengan cara memutar potensiometer VR.

4. Catatlah pada lembar data besar arus dan tegangan untuk setiap posisi putaran potensiometer.
5. Untuk setiap harga I dan V catatlah output dari optical power meter (dalam satuan mV)

Tegangan (V)	Arus (mA)	Tegangan output optical power meter (mV)

6. Tandailah (pada lembar data pengamatan) harga V dan I ketika anda mengidentifikasi visible output (keluaran sinar tampak) dari laser atau LED.
7. Berdasarkan data buatlah grafik arus terhadap tegangan (kurva I-V).
8. Berdasarkan data gambarlah grafik hubungan antara tegangan suplai dengan tegangan output optical power meter.
9. Dari grafik I-V tentukanlah :
 - a. Untuk laser dioda ,tegangan 'turn on' dan 'Lasing voltage'
 - b. Untuk LED ,tegangan 'turn on'



10. Berdasarkan harga $V_{turn\ on}$ laser dioda tentukanlah panjang gelombang laser dioda tersebut

$$\lambda = \frac{hc}{eV_{turn\ on}}$$

Dengan h adalah konstanta Planck, C cepat rambat cahaya, e muatan elektron

11. Berdasarkan grafik hubungan antara tegangan supply terhadap tegangan keluaran optical power meter, coba analisis bagaimanakah hubungan kedua variabel tersebut.

V. HUKUM STEPHAN – BOLTZMANN

Tujuan : Menentukan hubungan antara energi radiasi yang dipancarkan terhadap temperatur dari filamen tungsten dalam lampu pijar biasa.

Alat dan bahan

1. Power suplai DC
2. Jembatan Wheatstone
3. kabel penghubung
4. Voltmeter DC dan Amperemeter DC
5. Sensor radiasi (Thermopile)
6. Lampu pijar dan dudukannya

Teori

Joseph Stephan melakukan eksperimen yaitu mengukur energi radiasi yang dipancarkan dari benda padat berpijar untuk setiap harga temperatur dari benda tersebut . Berdasarkan data yang diperoleh dia mengemukakan bahwa energi radiasi yang dipancarkan dari benda padat berpijar persatuan waktu adan persatuan luas sebanding dengan pangkat empat dari suhu mutlaknya

$$E = e \sigma T^4$$

Dengan e adalah emisivitas (bergantung pada sifat benda), σ adalah konstanta Boltzmann dan T ialah suhu mutlak benda.

Penjelasan secara teoritis dari fakta eksperimen tersebut baru bisa dijelaskan oleh Max Planck pada tahun 1900. Dalam upaya penjelasan teoritis dari fenomena radiasi benda hitam ,Planck membuat asumsi asumsi sebagai berikut : Dinding rongga bagian dalam dari benda hitam sempurna tersusun oleh jutaan resonator resonator mikroskopik. Tiap submikroskopik resonator berfibrasi dengan frekuensi masing masing. Tiap submikroskopik oscilator memiliki energi total ayang besarnya terkuantisasi yaitu

$$E = nhf \quad , n = 1, 2, 3, \dots$$

Apabila suatu osilator loncat (jatuh)ke tingkat energi dibawahnya maka dari benda akan dipancarkan radiasi gelombang EM dengan frekuensi f .

Berdasarkan asumsi asumsi yang dibuatnya maka Planck berhasil merumuskan suatu formula rapat energi persatuan panjang gelombang yang dipancarkan dari benda hitam pada temperatur T sebagai berikut

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

Dengan mengintegrasikan fungsi $U(\lambda, T)$ meliputi seluruh rentang panjang gelombangnya maka akan diperoleh daya total radiasi persatuan luas, tepat seperti formula yang diperoleh oleh Stephan .

Pada eksperimen ini emisivitas e tungsten tidak konstan tetapi harganya mengecil seiring dengan bertambah besarnya panjang gelombang dan temperatur. Temperatur filamen akan ditentukan dari perubahan dalam resistansi dengan temperatur.

Prosedur Percobaan

1. Ukur resistansi filamen lampu pada temperatur ruang dengan menggunakan alat jembatan wheatstone. Pengukuran dilakukan dengan cara : pertama, ukur resistansi dari kabel penghubung yang digunakan ke lampu (gunakan baterai 1,5 volt), berikutnya ukur resistansi rangkaian kabel penghubung dengan lampu. Resistansi filamen adalah

R kabel dan lampu dikurangi R kabel saja. Pengukuran ini harus dilakukan secara akurat, kesalahan kecil dalam pengukuran akan mengakibatkan kesalahan besar dalam penentuan temperatur filamen.

2. Sambungkan lampu pada power suplai dan pasang voltmeter dan Amperemeter pada rangkaian tersebut masing masing untuk mengukur arus dan tegangan filamen.
3. Sambungkan sensor radiasi (thermopile) pada termometer digital ,atur pada rentang tegangan DC 100 -200 mV.
4. Nyalakan power suplai dan atur potensio hingga keluarannya 0,5 V DC lalu ukur arus pada Ameter ,Tegangan pada Voltmeter dan tegangan pada digital multimeter.
5. Ulangi langkah 4 untuk tegangan suplai 1,0 V ;1,5 V ; 2 V ,...6,5 V. Pengukuran ini harus dilakukan secara cepat dan antara pengukuran satu kepengukuran pengukuran berikutnya tempatkan penghalang (shield panas) antara lampu dan sensor radiasi. Catat data dalam tabel data berikut

Tegangan lampu	Arus lampu	Rad(mV) sensor	Log(Rad)	Resistansi lampu	Suhu T	T^4	Log T

6. Gambarlah grafik hubungan Log (Rad) (ordinate) terhadap Log T (absis).dari grafik tersebut tentukanlah eksponen dalam hukum stephan Boltzmann ,dan kesalahannya
7. Gambarlah grafik hubungan antara Rad (ordinate) dengan T^4 sebagai absis lalu analisis bagaimanakah hubungan antara kedua variabel tersebut.

Catatan :Temperatur filamen dapat ditentukan dari tabel berikut .

Resistivitas filamen tungsten sebagai fungsi temperatur

R/R _{300K}	Temp(K)	Resistivitas $\mu\Omega$ cm	R/R _{300K}	Temp(K)	Resistivitas $\mu\Omega$ cm
1.0	300	5,65	8,28	1700	46,78
1,43	400	8,06	8,86	1800	50,05
1,87	500	10,56	9,44	1900	53,35
2,34	600	13,23	10,03	2000	56,67
2,85	700	16,09	10,63	2100	60,06
3,36	800	19,00	11,24	2200	63,48
3,88	900	21,94	11,84	2300	66,91
4,41	1000	24,93	12,46	2400	70,39
4,95	1100	27,94	13,08	2500	73,91
5,48	1200	30,98	13,72	2600	77,49
6,03	1300	34,08	14,34	2700	81,04
6,58	1400	37,19	14,99	2800	84,70
7,14	1500	40,36	15,63	2900	88,33
7,71	1600	43,55	16,29	3000	92,04

VI. CEPAT RAMBAT GELOMBANG BUNYI di UDARA (GELOMBANG BUNYI BERDIRI)

Tujuan :

1. Mempelajari gelombang bunyi berdiri (standing sound waves)
2. Menentukan cepat rambat gelombang bunyi di udara

Alat dan bahan

1. Speaker kecil 8 Ohm ,1 inch
2. Signal generator atau audio generator
3. Mikrophone mini
4. Oscilloscope dual trace
5. penggaris
6. pipa kaca dan piston
7. kabel penghubung

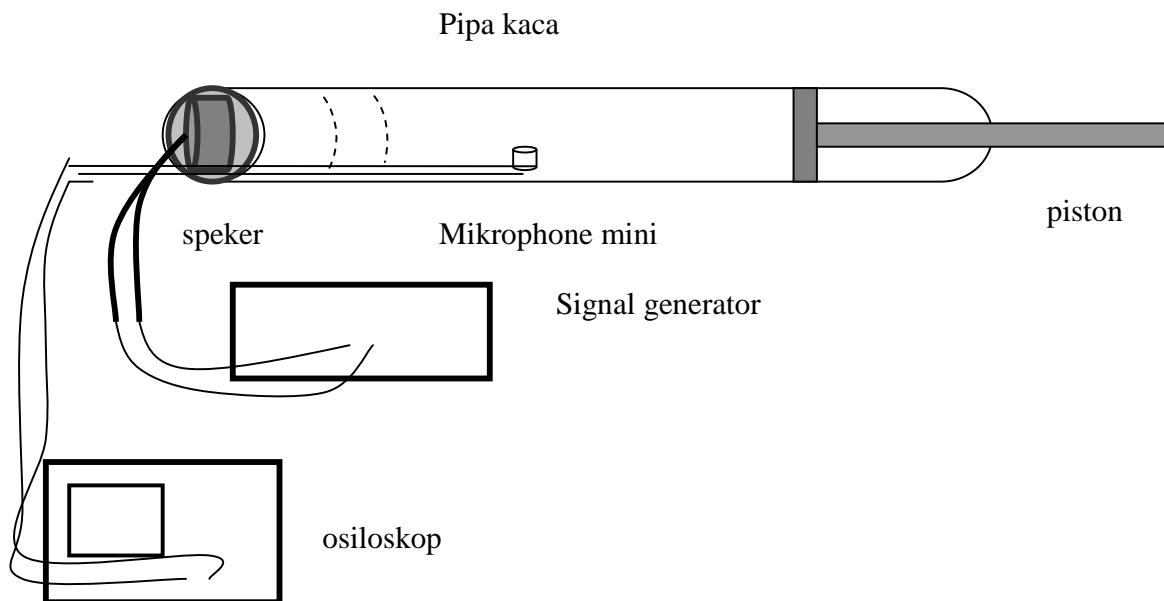
Teori

Ketika gelombang bunyi melewati udara maka molekul molekul udara berpindah dari kedudukan awalnya secara sinusoidal. Karena perpindahan secara sinusoidal ini maka terjadi variasi tekanan dan kerapatan yang juga secara sinusoidal. Di tempat yang kerapatannya tinggi maka tekanannya juga tinggi. Berdasarkan hukum gas ideal bahwa tekanan berbanding lurus dengan kerapatannya pada kondisi temperaturnya konstan. Hubungan antara perpindahan dan tekanan ialah bahwa ditempat yang tekanannya tinggi maka perpindahannya nol dan sebaliknya ditempat yang tekanannya nol maka perpindahan molekulnya besar. Pulsa tekanan/perpindahan merambat melalui medium, ketika pulsa tekanan itu mencapai telinga bagian luar manusia ,maka akan terasa variasi kecil tekanan udara yang akan menyebabkan bergetarnya gendang telinga ,sehingga otak kita akan mendeteksi adanya bunyi.

Bunyi dapat merambat didalam medium tapi tidak dapat merambat diruang hampa. Cepat rambat bunyi dalam medium berbeda beda tergantung pada jenis mediumnya . Pada percobaan ini akan dilakukan pengukuran cepat rambat bunyi di udara dengan cara membangkitkan gelombang bunyi berdiri di udara.. Dengan mengukur panjang gelombang bunyi berdiri yang terbentuk λ dan mengetahui frekuensi signal audio generator f maka cepat rambat bunyi V di udara dapat ditentukan $V=\lambda f$.

Prosedur Percobaan

1. Rangkai alat seperti gambar berikut



2. Nyalakan signal audio generator dan atur pada harga frekuensi tertentu (daerah frekuensi audio).
3. Nyalakan osiloskop atur tombol Time/Dip dan tombol Volt/Dip
4. Gerakan piston ,masuk atau keluar tube hingga gelombang bunyi beresonansi didalam pipa yaitu terdengar bunyi keras.Ukur jarak antara piston dan speaker L .
5. Pada keadaan resonansi tersebut gerakan mini mikrophone sambil memperhatikan display osiloskop ,tandai titik titik atau posisi mikrophone dimana layar osiloskop menunjukkan sinyal yang maksimum
6. ukur jarak antara dua kedudukan mikrophone yang berdekatan ,dimana jarak ini sama dengan panjang gelombang bunyi yang merambat diudara
7. Tentukanlah cepat rambat bunyi diudara
8. Lakukan langkah yang sama namun pistonnya tetap tidak diubah ubah ,tapi frekuensi audio generator diubah ubah hingga terdengar bunyi resonansi. Pada keadaan resonansi tersebut catat berapa frekuensi audio generatornya dan berapa jarak antara piston dan speaker
9. Bandingkan dengan hasil pengukuran pertama ,Apakah ada perbedaan jarak antara dua posisi mikrophone dimana layar osiloskop menunjukkan sinyal yang maksimum ?

VII. CEPAT RAMBAT GELOMBANG BUNYI DI UDARA

Tujuan : Menentukan cepat rambat bunyi diudara pada temperatur kamar dengan menggunakan osiloskop

Alat dan bahan :

1. Osiloskop dual trace
2. Audio generator /signal generator
3. Mikrophone
4. kabel penghubung

Teori

Jika dua sinyal input sinusoidal misalnya

$$y_1 = a_1 \sin(\omega t - \alpha_1)$$

$$y_2 = a_2 \sin(\omega t - \alpha_2)$$

Dihubungkan ke input 1 dan input 2 dari osiloskop dan di set sebagai plate Y dan plate X, kedua sinyal tersebut dapat disuperposisikan (add) sehingga hasil superposisinya akan tampak dilayar tampilan. Secara matematik superposisi dari kedua gelombang tersebut ialah

$$\frac{y_1}{a_1} + \frac{y_2}{a_2} = \sin(\omega t - \alpha_1) + \sin(\omega t - \alpha_2)$$

Atau

$$\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2) = \left(\frac{y_1}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{y_2}{a_2}\right)^2 - 2\frac{y_1 y_2}{a_1 a_2} \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \dots\dots\dots 1$$

Jika beda phase dari kedua gelombang $\Delta = \alpha_1 - \alpha_2$ di set menjadi kelipatan genap dari π , $\Delta = \pm 2n\pi$ maka persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi

$$\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2) = \sin^2(2n\pi) = 0$$

$$\left(\frac{y_1}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{y_2}{a_2}\right)^2 - 2\frac{y_1 y_2}{a_1 a_2} \cos(\alpha_1 - \alpha_2) = 0$$

$$\left(\frac{y_1}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{y_2}{a_2}\right)^2 - 2\frac{y_1 y_2}{a_1 a_2} = 0$$

$$y_1 = \frac{a_1}{a_2} y_2 \tag{2}$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan garis lurus.

Bila perbedaan phasenya merupakan kelipatan bilangan ganjil dari π maka persamaan 1 akan direduksi menjadi

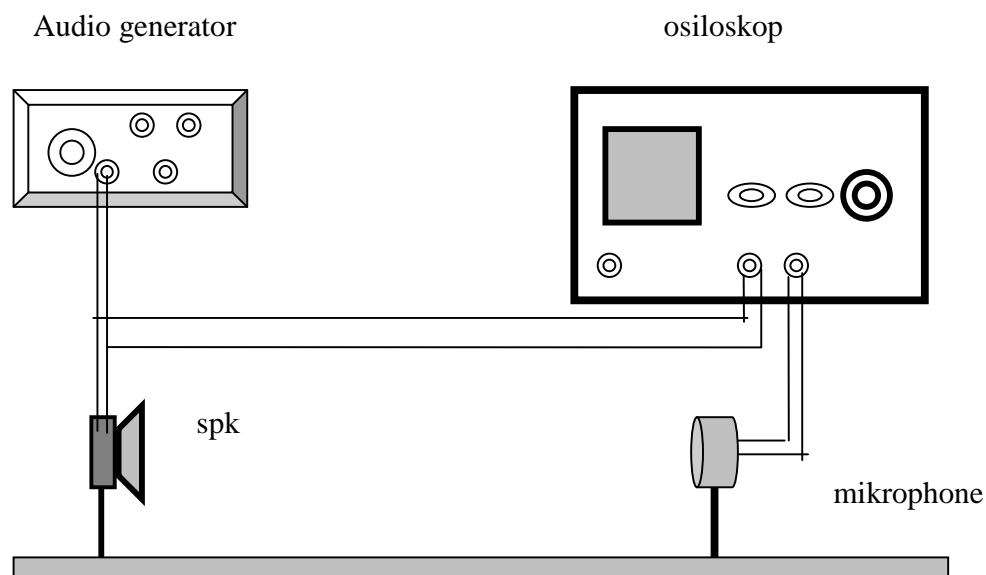
$$y_1 = -\frac{a_1}{a_2} y_2 \tag{3}$$

Juga merupakan persamaan garis lurus tapi kemiringan garisnya negatif dari kemiringan garis pada persamaan 2. Salah satu sinyal dari dua sinyal listrik yaitu sinyal dari audio generator dihubungkan ke speaker (transmitter sinyal) dan secara paralel juga dihubungkan ke salah satu

input dari osiloskop sebut saja sinyal x pada osiloskop. Mikrophone bertindak sebagai receiver sinyal yang berasal dari speaker, dihubungkan ke osiloskop dan sebut saja sinyal y pada osiloskop. Transmitter akan memancarkan gelombang bunyi dengan frekuensi tepat seperti yang diatur pada audio generator. Gelombang bunyi akan merambat diudara dan akan ditangkap oleh receiver yang ditempatkan didepan transmitter pada jarak tertentu. Beda phase antara dua sinyal tersebut yaitu sinyal x dan sinyal y akan bergantung pada panjang lintasan yang ditempuh bunyi diudara antara transmitter dan receiver. Jika panjang lintasannya merupakan kelipatan dari panjang gelombang bunyi $n\lambda$ maka layar tampilan osiloskop akan menunjukkan gambar garis dengan kemiringan positif. Jika panjang lintasannya merupakan kelipatan dari $\frac{2n+1}{2}\lambda$, maka layar tampilan osiloskop akan menunjukkan gambar garis dengan kemiringan negatif. Dengan demikian perbedaan panjang lintasan antara dua garis lurus yang berurutan pada osiloskop ialah $\frac{\lambda}{2}$.

Prosedur Percobaan

1. Rangkai alat seperti skema berikut



2. Set osiloskop pada mode xy dan atur frekuensi audio generator antara 1-5 KHz
3. Atur amplitudo dari sinyal input sinusoidal sedemikian hingga pada layar tampilan osiloskop nampak gambar ellips
4. Speaker dipasang pada dudukannya dan letakan pada rail dengan posisi tetap, Mikrophone dipasang pada dudukannya (mount) dan letakan pada rail sedemikian hingga kedudukan mikrophone terhadap speaker dapat diubah ubah.
5. Gerakan mikrophone kearah speaker sambil perhatikan layar tampilan osiloskop, ketika layar tampilan menunjukkan gambar garis lurus .ukur jarak antara mikrophone dan speakernya.
6. Gerakan lagi mikrophone kearah speaker hingga pada layar tampilan osiloskop tampak gambar garis lurus lagi, lalu ukur jarak antara speaker dan mikrophone.

7. Berdasarkan data yang diperoleh tentukanlah panjang gelombangnya
8. Ubah frekuensi f audio generator misal menjadi 2 KHz, ulangi langkah 5-7
9. Ubah frekuensi audio generator pada harga lainnya ,lalu ulangi langkah 5-7
10. Berdasarkan data yang diperoleh ,plot grafik hubungan λ terhadap $1/f$,berdasarkan grafik yang diperoleh tentukanlah harga cepat rambat bunyi diudara.

VIII. CEPAT RAMBAT CAHAYA DALAM GELAS

Tujuan : Menentukan cepat rambat cahaya dalam medium gelas

Alat dan bahan :

1. Spektrometer
2. Prisma
3. Sumber cahaya

Teori

Cepat rambat cahaya dalam ruang vakum ialah $C = 2,998 \cdot 10^8$ m/s. Cepat rambat cahaya dalam medium lainnya v akan lebih kecil dari C dan ketika cahaya masuk ke medium lain maka pada bidang batas dua medium tersebut gelombang cahaya akan mengalami pembiasan. Pada eksperimen ini medium gelas yang digunakan ialah berupa prisma yang terbuat dari gelas. Berkas sinar sejajar akan merambat dari medium udara dan jatuh pada bidang batas 1 antara udara dan gelas dengan sudut datang θ_1 . Sinar akan dibiaskan dalam gelas dengan sudut bias θ_2 . Hubungan keduanya dinyatakan oleh Hukum Snellius berikut

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Maka cepat rambat cahaya dalam medium gelas ialah

$$v = c \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

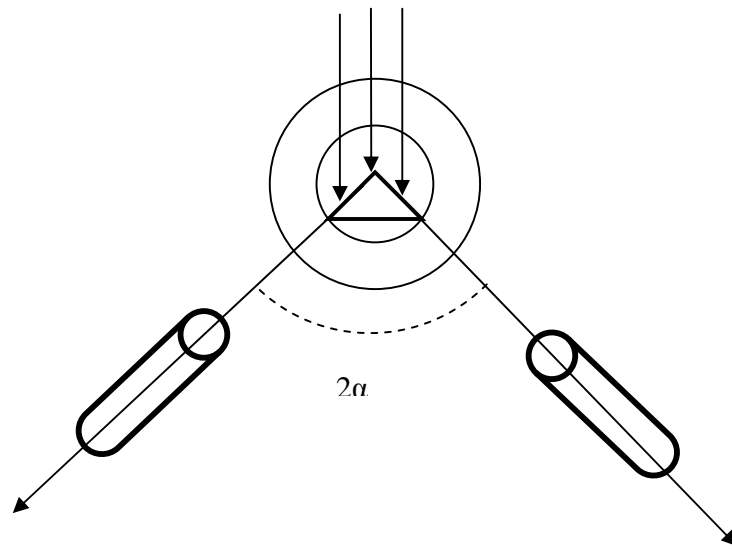
Kita tahu bahwa untuk arah sinar datang tertentu, sinar akan dibiaskan pada medium kedua (gelas) dengan arah rambat sejajar dengan dasar prisma dan perpindahan angular dari sinar yang dipancarkan dari bidang batas 2 antara kaca udara akan memiliki harga terkecil (deviasi angular minimum) δ_m . Pada kondisi ini maka cepat rambat cahaya dalam medium gelas ialah

$$v = c \frac{\sin(\alpha/2)}{\sin\{(\alpha + \delta_m)/2\}}$$

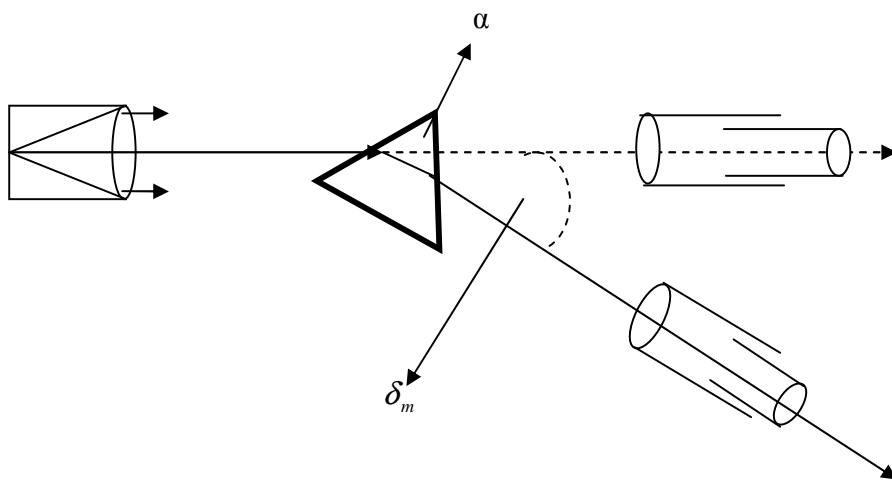
Dimana α adalah sudut puncak prisma

Prosedur Percobaan

1. seting spektrometer : seting eyepiece, seting teleskop, seting kolimator, seting meja prisma.
2. Mengukur sudut puncak prisma



3. Ukurlah deviasi angular minimum



4. Berdasarkan data tersebut tentukanlah Cepat rambat cahaya dalam medium gelas.

IX. EFEK PHOTOVOLTAIC : SEL SURYA

Tujuan :

1. Mempelajari variasi tegangan rangkaian terbuka sebagai fungsi dari intensitas cahaya datang
2. mempelajari karakteristik pembebanan dari solar sel yang disinari.

Alat dan Bahan

1. modul Sel surya
2. Sumber cahaya
3. Voltmeter
4. Dioda
5. Resistor
6. Amperemeter

Teori

Jika p-n junction (sambungan p-n) disinari oleh cahaya yang memiliki energi photon lebih besar dari energi band gap material tersebut ,maka akan terbentuk pasangan elektron – hole . Jika sinar datang memiliki intensitas I dan frekuensinya f jatuh pada permukaan solar sel dengan sensitif area A , maka seluruh cahaya yang diserap oleh solar sel akan menghasilkan pasangan elektron –hole dengan efisiensi kuantum η . Jumlah pasangan elektron –hole yang dihasilkan didalam sel perdetik ialah

$$n = \frac{\eta IA}{hf} \quad 1$$

Pada kondisi tersebut solar sel bertindak sebagai sumber arus tetap (konstan) dengan besar arusphoto dinyatakan oleh

$$i_f = ne = \frac{e\eta IA}{hf} \quad 2$$

Berdasarkan persamaan tersebut arusphoto berbanding lurus dengan intensitas radiasi sinar datang. Gambar 1 menunjukkan rangkaian equivalen dari sel surya ,dimana sumber arus memberikan aris i_f ,dioda ideal D dan resistor shunt R_p dipasang paralel dengan solar sel ,dan diserikan dengan resistor seri R_s .Untuk rangkaian terbuka ($I_{ext} = 0$) ,tegangan diujung ujung solar sel hampir sama dengan tegangan diujung ujung dioda. Dari persamaan dioda ideal dapat dinyatakan

$$e^{\frac{qv}{k_b T}} = 1 + \frac{i_f}{I_{so}} - \frac{V}{I_{so} R_p} \quad 3$$

Dimana I_{so} adalah arus reverse saturasi dari dioda. Untuk kondisi operasi biasa $i_f \gg I_{so}$,dengan $I_{so} = 0.01\mu A$, $R_p = 108\Omega$ dan $V = 0,6$ Volt ,relasi aproksimasi persamaan 3 menjadi

$$e^{\frac{qv}{k_b T}} = \frac{i_f}{I_{so}} \quad 4$$

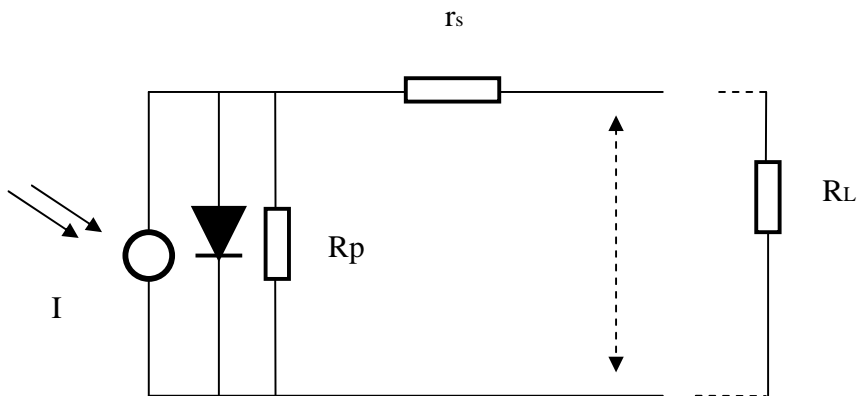
Maka dari persamaan 2 dan 4 diperoleh

$$V \equiv \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{e\eta I A}{hf I_{so}}\right) \quad 5$$

Dengan demikian tegangan photo V merupakan fungsi logaritmik dari intensitas I.

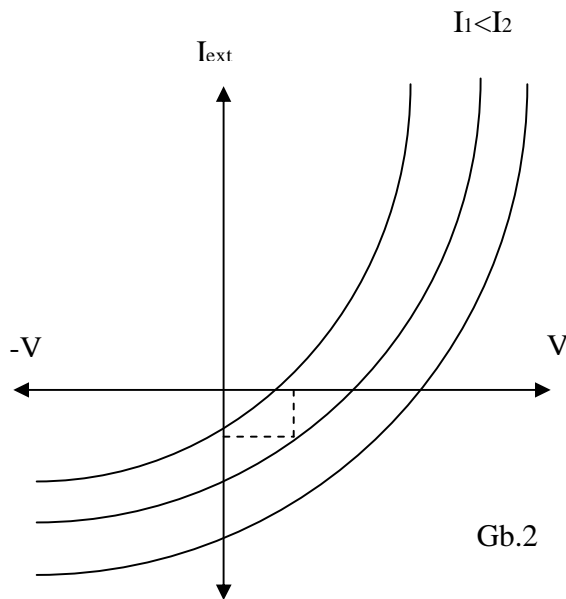
Apabila pada rangkaian tersebut dipasang hambatan beban R_L , maka persamaan 4 dapat dimodifikasi menjadi

$$e^{\frac{qv}{k_B T}} = 1 + \frac{i_f}{I_{so}} - \frac{I_{ext}}{I_{so}} \quad 6$$



Gb.1

Daya maksimum akan dihasilkan oleh solar sel ketika perkalian $I_{ext} V$ adalah maksimum. Beban optimum ditentukan oleh titik (V_m, I_m) seperti ditunjukkan pada kurva karakteristik I-V dari solar sel sambungan p-n yang disinari oleh cahaya, seperti pada gambar 2 berikut



Prosedur Percobaan

1. Sinari sel surya dengan sumber cahaya yang cocok dan ukur beda potensial ketika rangkaian dalam keadaan terbuka . Ukur harga beda potensial untuk setiap harga Intensitas cahaya yang disinarkan pada solar sel. (memvariasikan intensitas cahaya dapat dilakukan dengan menggunakan filter).
2. Pasang hambatan beban R_L pada rangkaian ,ukurlah variasi arus tegangan I_f sebagai fungsi dari arus beban untuk berbagai harga intensitas dan harga frekuensi
3. Plot variasi arus beban sebagai fungsi dari tegangan dan tentukan titik operasi maksimum untuk berbagai harga intensitas.
4. tentukan (hitung) daya maksimum yang dihasilkan oleh solar sel.

X. SISTIM KOMUNIKASI LASER ANALOG

Tujuan : mempelajari pemodulasian sinar laser

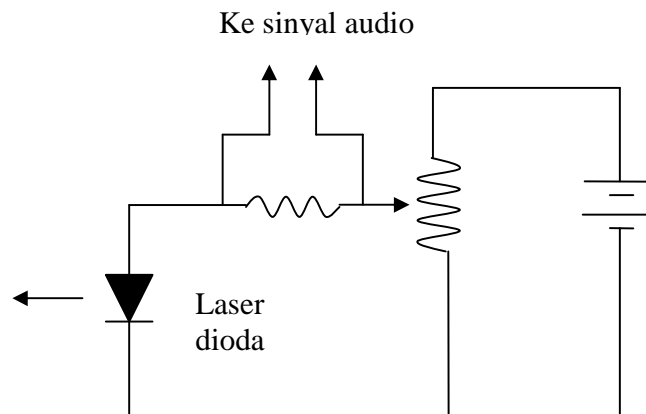
Alat dan Bahan :

1. Laser dioda dengan daya lebih kecil dari 1mW
2. Resistor 1 Ohm
3. Potensiometer
4. Baterai (power suplai DC)
5. Sumber signal audio
6. Speaker
7. Audi power ampli
8. Sel surya atau photo transistor atau photo dioda
9. Kabel coaxial
10. kabel penghubung

Teori

Prinsip Pengoperasian Transmitter laser.

Skema diagram transmitter laser



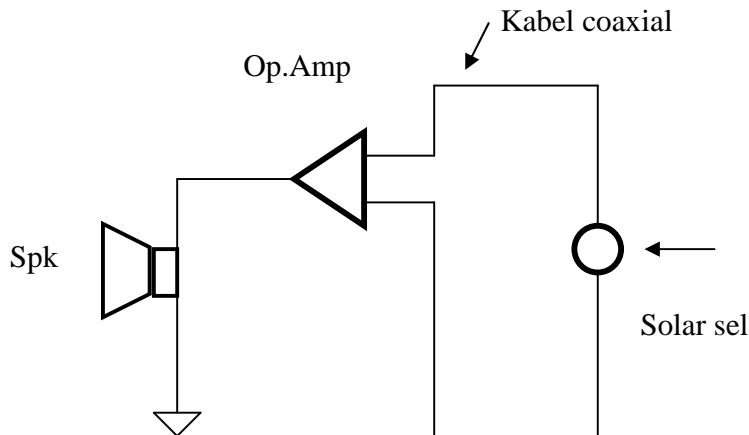
Ketika resistor 1 Ohm dipasang pada rangkaian secara seri dengan laser dioda dan disambungkan dengan suplai arus, tegangan pada ujung ujung resistor akan berubah ketika arus pada laser dioda berubah besarnya. Pada ujung ujung resistor disambungkan dengan kabel coaxial lalu disambungkan ke out put sumber sinyal audio misal radio transistor atau I pod melalui earphone plug. Out put dari sistim audio menghasilkan perubahan tegangan pada ujung ujung resistor. Rata rata perubahan tegangan tersebut sebanding dengan sinyal audio original.

Adanya perubahan tegangan pada resistor akan menyebabkan suplai tegangan pada laser dioda juga berubah ubah. Signal output dari laser dioda akan sebanding dengan suplai tegangan. Hal itu berarti terjadi modulasi (pemodulasian) output laser dioda. Pemasangan potensiometer antara laser dioda dan baterai dilakukan untuk menenmukan optimal working

point dari sistem dimana modulasi sebagian laser mempengaruhi sinyal yang ditransmisikan dengan tanpa distorsi.

Prinsip Operasi Receiver Laser.

Skema diagram receiver Laser



solar sel atau photo dioda atau photo transistor berfungsi sebagai detektor untuk mengumpulkan sinar laser yang berasal dari rangkaian transmitter laser. Sel surya ketika disinari oleh sinyal laser akan mengkonversinya menjadi tegangan listrik. Tegangan output dari detektor sebanding dengan intensitas sinyal laser datang. Selanjutnya output detektor dihubungkan ke penguat daya audio (op.amp) elektronik sederhana pada frekuensi audio 500 – 10000 Hz. Detektor cahaya akan mencapai saturasi apabila terlalu banyak sinar laser jatuh pada permukaan sensitif dari solar sel. Dengan memperbesar jarak antara transmitter dan receiver akan mereduksi power density pada detektor (karena adanya divergensi berkas laser), dengan melakukan hal seperti itu maka saturasi dapat dieliminir.

Prosedur Percobaan

1. Hubungkan rangkaian elektronik transmitter laser dengan cara menghubungkan resistor dan power supply laser dioda secara seri (lihat skema diagram transmitter laser)
2. Masukkan earphone plug pada sumber audio
3. Arahkan berkas sinar laser terhadap permukaan sensitif detektor dan hubungkan detektor pada audio op.amp dan speaker. (lihat skema diagram receiver laser)
4. dengan mengoperasikan sumber audio akan menyebabkan sinyal terdengar dari speaker.
5. Suara dari speaker akan berhenti apabila berkas sinar laser yang masuk ke solar sel di halangi (di blok)

XI. POLARIZER TIPE POLAROID

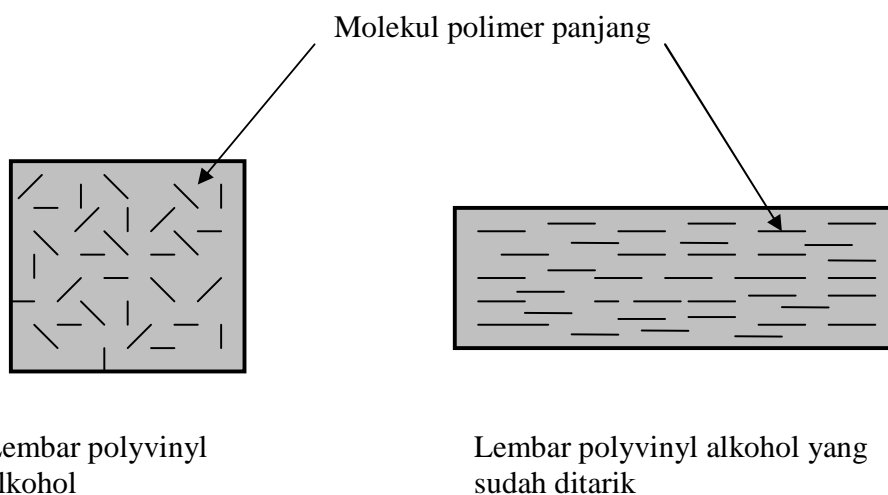
Tujuan : 1. mempelajari proses polarisasi cahaya
3. Mempelajari karakteristik polarizer tipe polaroid

Alat dan Bahan

1. Sumber cahaya sodium
2. Polaroid sheet type polarizer
3. polarizer mount
4. optical benches
5. optical power meter
6. lensa kolimator
7. layar

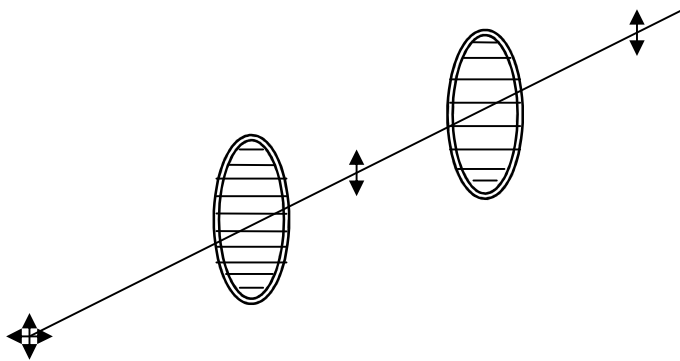
Teori

Bahan dasar dari polarizer tipe polaroid adalah lembaran polyvinyl alcohol. Proses pembuatan yang dilakukan oleh Land adalah sebagai berikut ,lembaran polyvinyl alkohol dipanaskan dan secara cepat ditarik atau diregangkan beberapa kali kearah panjangnya. Selama proses penarikan tersebut sebagian besar dari molekul molekul panjang mengarahkan diri sehingga arahnya hampir sama yaitu mengarah ke arah pemberian gaya tarikan.



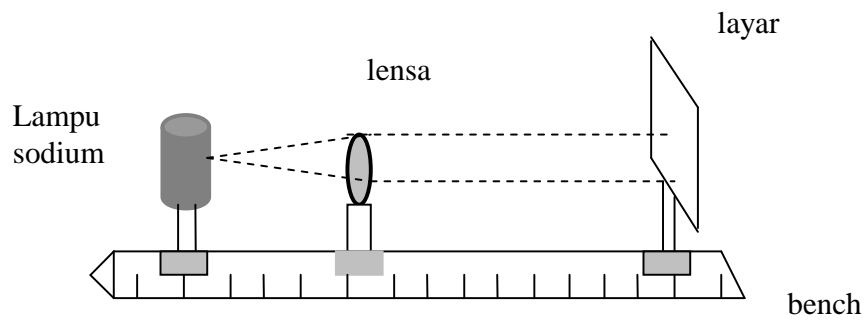
Tahap berikutnya ialah memasukan lembaran polyvinyl alkohol yang sudah ditarik kedalam larutan yang kaya iodine. Atom atom iodine akan berdifusi kedalam lapisan lapisan polyvinyl

alkohol dan membentuk dirinya menjadi rantai panjang iodeine. Rantai iodine ini bertindak seperti kawat dalam polarizer yang terbuat dari kawat. Ketika gelombang elektromagnetik datang pada polarizer ini , medan listrik yang arah vibrasinya paralel dengan kawat akan diserap ,sedangkan medan listrik yang arah vibrasinya tegak lurus kawat akan diteruskan . Jadi arah sumbu transmisi tegak lurus pada arah penarikan lembar polyvinyl alkohol.



Prosedur Percobaan

1. Susunlah sumber cahaya sodium , optical bench ,layar dan lensa kolimator seperti gambar berikut



2. Nyalakan sumber cahaya sodium ,lalu ukur intensitas cahaya yang jatuh dilayar dengan menggunakan optical power meter.
3. Tempatkan polarizer tipe polaroid pada bench diantara lensa dan layar ,lalu ukur intensitas cahaya pada layar dengan menggunakan optical power meter.
4. Tempatkan polarizer tipe polaroid kedua pada bench dibelakang polarizer pertama secara paralel
5. Rotasikan polaroid kedua dengan perubahan sudut rotasi tiap 10 derajat lalu ukur intensitas cahaya dilayar untuk tiap harga sudut rotasi tersebut,hingga polaroid berputar 360 derajat. Catat data dalam lembar data pengamatan
6. Plot grafik intensitas sebagai fungsi dari sudut rotasi polaroid ke dua
7. Berdasarkan grafik yang diperoleh coba analisis dan simpulkan.

XII . POLARIZER TIPE REFLEKSI

- Tujuan : 1.** Mempelajari terjadinya polarisasi cahaya melalui polarizer tipe refleksi.
2. Menentukan sudut polarisasi

Alat dan bahan

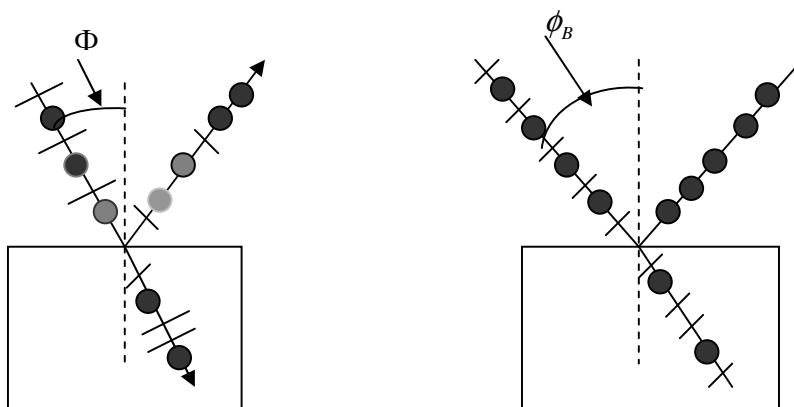
1. Sumber cahaya (lampu sodium)
2. Lensa kolimator
3. Cermin datar
4. polarizer polaroid
5. layar
6. optical benches
7. optical power meter

Teori.

Jika seberkas cahaya putih tak terpolarisasi datang dengan sudut tertentu pada permukaan gelas biasa yang permukaannya sangat halus, ternyata berkas sinar yang dipantulkan menjadi terpolarisasi linier.

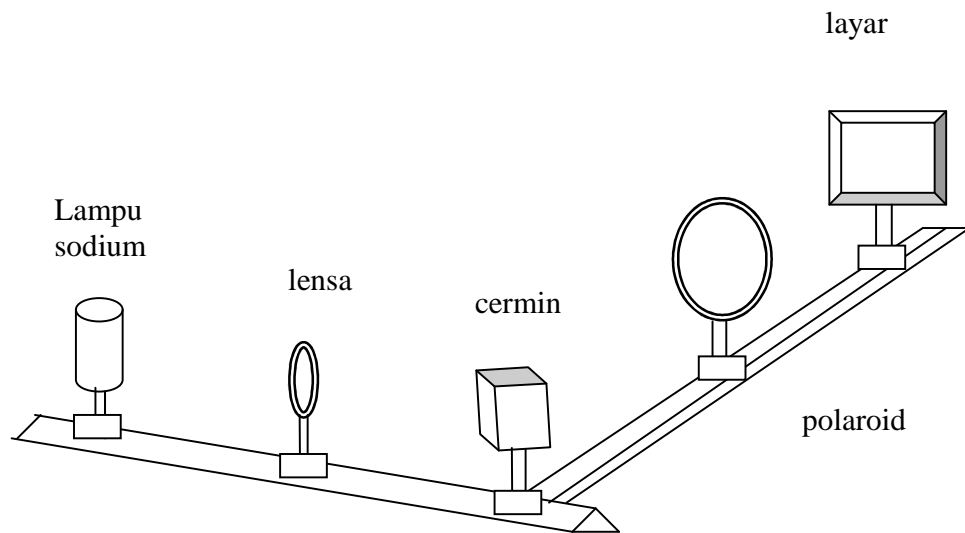
Bilamana plate gelas diorientasikan sedemikian hingga permukaannya tegak lurus terhadap arah sinar datang (sudut antara garis normal dan sinar datang nol derajat), maka tidak terjadi polarisasi . Seluruh komponen vibrasi dari cahaya ditransmisikan secara sama dan berkas cahaya yang ditransmisikan tidak terpolarisasi. Berkas cahaya datang itu 8% nya akan dipantulkan dan berkas cahaya pantulan ini juga tidak terpolarisasi.

Ketika berkas cahaya datang membuat sudut Φ terhadap garis normal ,ternyata berkas cahaya pantulan dan berkas cahaya transmisi akan mengalami terpolarisasi sebagian. Bilamana sudut datang diperbesar hingga mencapai sudut Brewster ϕ_B , polarisasi TM 100% akan ditransmisikan ,dan berkas cahaya pantulan akan mengalami polarisasi TE murni.



Prosedur Percobaan

1. Susunlah peralatan seperti gambar berikut.



2. Gerakkan optikal benches kedua sehingga cahaya dipantulkan dari cermin dengan sudut pantul $56,3$ derajat terhadap garis normal ,lalu masuk ke polaroid dan jatuh di layar.
3. Dengan memutar polaroid ,periksalah bahwa cahaya yang dipantulkan dari cermin merupakan cahaya terpolarisasi ,lalu tentukanlah bidang polarisasinya.

XIII. INDEKS BIAS CORE FIBER OPTIK

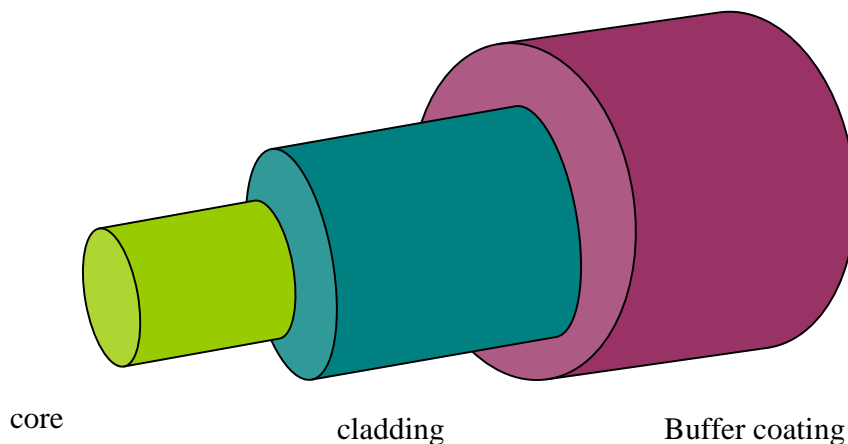
Tujuan : Menentukan indeks bias material core fiber optik

Alat dan bahan

1. Osiloskop dual trace 10 MHz
2. Transmitter laser (emiter)
3. Receiver laser
4. power suplai untuk emiter dan receiver laser
5. Kabel fiber optik polimer yang biasa digunakan untuk komunikasi fiber optik
6. Kabel BNC

Teori

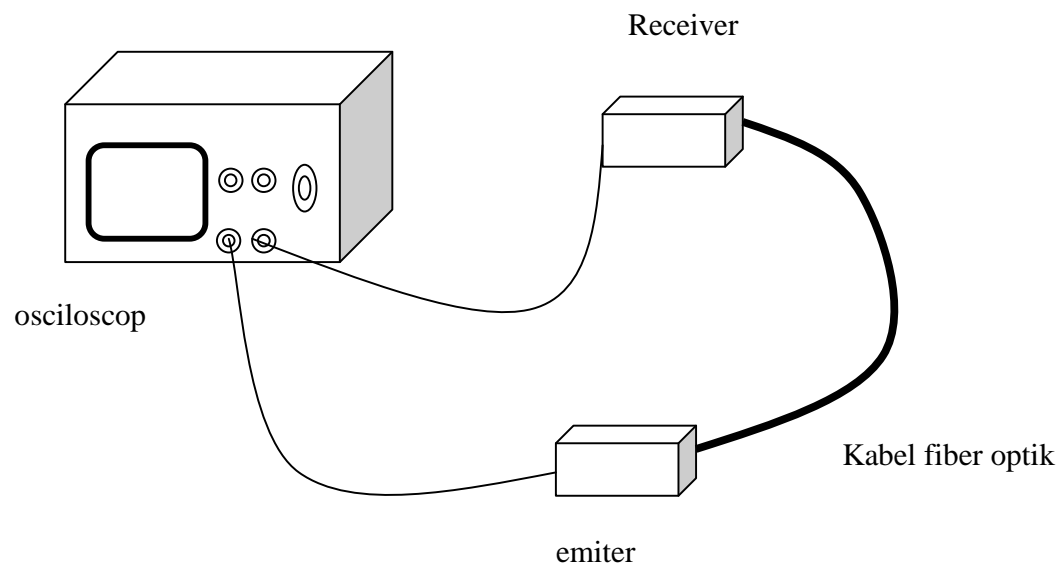
Kabel fiber optik dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai dengan kebutuhannya. Konstruksi kabel fiber optik yang digunakan untuk komunikasi dapat digambarkan sebagai berikut



Core merupakan inti dari kabel fiber optik ,material core ini bisa berupa serat kaca atau serat plastik (polimer). Core ini merupakan tempat ditransmisikannya photon (sinar laser atau sumber cahaya lainnya) sebagai pembawa informasi. Indeks bias material core lebih besar dari indeks bias material cladding ,hal ini yang menyebabkan terjadinya internal reflection total. Dengan mengukur cepat rambat cahaya dalam maerial core ini ,maka indeks bias dari material core dapat ditentukan

Prosedur Percobaan

1. susunlah peralatan seperti gambar berikut



2. Hidupkan (on) osiloskop ,set tombol sweep time/dip hingga sinyal tampak jelas di layar display , dan tombol trig Level ke Auto, set tombol Volt /Dip channel kedua (sinyal Y) pada 0,2 V serta input sinyal di set ke AC. Pasang kabel fiber optik sepanjang 15 cm dengan menghubungkan ujung ujungnya pada output emiter dan input receiver (detektor)
3. Atur kedua sinyal (x dan y) supaya keduanya berada pada posisi tengah layar display.
4. Hidupkan emiter dan receiver .atur Y gain hingga pulsa yang diterima jelas nampak dilayar
5. Ukurlah time delay antara pulsa dari emiter (received pulse) dengan pulsa output (dari receiver)
6. Tentukanlah cepat rambat cahaya dalam fiber optik tersebut
7. Ulangi langkah percobaan untuk panjang kabel fiber optik 20 cm
8. Berdasarkan harga cepat rambat cahaya dalam fiber optik tersebut ,hitunglah indeks bias dari material core fiber optik tersebut

XIV. ENERGI GAP SEMIKONDUKTOR

Tujuan : Menentukan energi gap semikonduktor

Alat dan Bahan

1. Amperemeter digital
2. Power suplai DC variable
3. kabel penghubung
4. Volt meter
5. furnice atau hot plate

Teori

Pada temperatur kamar ,semikonduktor tipe n (contoh germanium yang didoping Arsenic) memiliki elektron untuk konduksi yang energinya berada di pita konduksi. Sebaliknya untuk semikonduktor tipe p (Germanium yang didoping Galium) konduksi dilakukan oleh hole yang energinya berada di pita valensi. Bilamana kedua semikonduktor tersebut digabungkan sehingga membentuk sambungan p-n (p-n junction),elektron akan berdifusi dari sisi n ke p dan hole akan berdifusi dari sisi p ke n. Arus difusi rata ratanya ialah

$$I_d = I_{ed} + I_{hd} = C_1 e^{-eV_j / kT} \quad 1$$

Dengan V_j adalah tegangan antara junction dan C_j adalah konstanta. Akibat arus tersebut ,sisi p dari junction menjadi lebih bermuatan negatif dan sisi p menjadi lebih bermuatan positif. Maka akan terdapat medan listrik yang berarah dari sisi n menuju sisi p.

Pasangan elektron hole juga akan dibangkitkan karena adanya panas didaerah p dan n dengan probabilitas

$$e^{-eV_g / kT}$$

Dengan eV_g adalah energi gap antara pita valensi dan pita konduksi. Adanya medan listrik akan menyebabkan hole dari sisi n bergerak menuju sisi p dan elektron bergerak dari sisi p ke sisi n , sehingga akan terjadi keseimbangan arus

$$I_o = I_{eo} + I_{ho} = C_2 e^{-eV_g / kT} \quad 2$$

Pada keadaan keseimbangan ini $I_d = I_o$ sehingga

$$e^{-e(V_j - V_g) / kT} = \text{kons tan} \quad 3$$

Jika pada junction tersebut di beda potensial dari luar sebesar V dimana sisi semikonduktor tipe p dihubungkan ke kutub positif power suplai ,maka arus difusi akan meningkat dengan faktor peningkatan

$$e^{-e(V_j - V) / kT} / e^{-eV_j / kT}$$

Dan rata rata arus forward (arus maju) adalah

$$I_f = I_d e^{-eV / kT} - I_o = I_o (e^{-eV / kT} - 1) \quad 4$$

Dengan cara serupa bila junction diberi panjar mundur (reverse bias) maka arus reverse rata rata ialah

$$I_r = I_o (1 - e^{-eV / kT}) \quad 5$$

Dari persamaan 4 dan 5 diperoleh

$$I = I_o (1 - e^{-eV / kT}) \quad 6$$

Dengan I menyatakan arus dari sisi p ke sisi n dan V bertanda positif bila junction diberi panjar maju (forward bias) dan bertanda negatif bila junction diberi panjar mundur (reverse bias)

Prosedur Percobaan

A. karakteristik forward dan reverse pada temperatur kamar

1. Hidupkan alat pengatur suhu (furnice atau hot plate) dan set pada temperatur 25 C. Dioda (p-n junction) dihubungkan ke power suplai dan dengan pemberian tegangan panjar maju .
2. Ketika temperatur sudah stabil 25 C , atur tegangan pada harga 0,2 V lalu ukur arus yang mengalir dalam rangkaian dengan menggunakan amperemeter digital
3. Ulangi langkah 2 untuk harga tegangan maju sebesar : 0,22 ; 0,24 ;;0,3 ; 0,35 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ,....1,0 V
4. Ubah pemberian panjar tegangan pada dioda tersebut menjadi panjar mundur (reverse bias), set tegangan pada 0,2 V lalu ukur arus yang mengalir pada rangkaian.
5. Ulangi langkah 5 untuk harga tegangan panjar sebesar : 0,4 ;;1,0 ;2,0 ; 5,0 ;10 ;15,0 ,...., 40 V. Ukur masing masing arusnya

B. Arus reverse sebagai variasi dari temperatur

Dioda diberi panjar mundur 10 V. Set temperatur pada 75 C dan ukur arus pada setiap kenaikan 5 C dari temperatur kamar.

C. Karakteristik Forward pada temperatur 75 C

Lakukan langkah seperti bagian A 1,2 ,3 untuk temperatur 75 C

Analisis

Dari persamaan 6 diperoleh

$$\ln (1+I/I_0) = eV/kT$$

karena $I/I_0 \gg 1$ maka untuk seluruh rentang pengukuran forward

$$\ln I - \ln I_0 = eV/kT$$

Pada tempetarur tertentu, I_0 adalah konstan sehingga grafik hubungan $\ln I$ terhadap V memiliki kemiringan e/kT .

Plot grafik hubungan tersebut untuk forward karakteristik baik pada temperatur 25 C maupun pada temperatur 75 C ,lalu tentukanlah konstanta Boltzmann.

Juga dari persamaan 6 ,untuk tegangan panjar mundur ,harga V dari -1V atau lebih

$|I| \approx I_0$,ini adalah arus reverse saturasi ,seperti diukur pada bagian B . dari persamaan 2

$$\ln I_0 = \ln C_2 - eV_g / kT$$

Dengan menggunakan data pada percobaan B ,plot grafik hubungan $\ln I_0$ terhadap $1/T$ dimana T dalam derajat Kelvin. Maka dengan menggunakan harga konstanta Boltzmann yang sudah diperoleh sebelumnya ,tentukanlah energi bandgap eV_g untuk semikonduktor Germanium tersebut