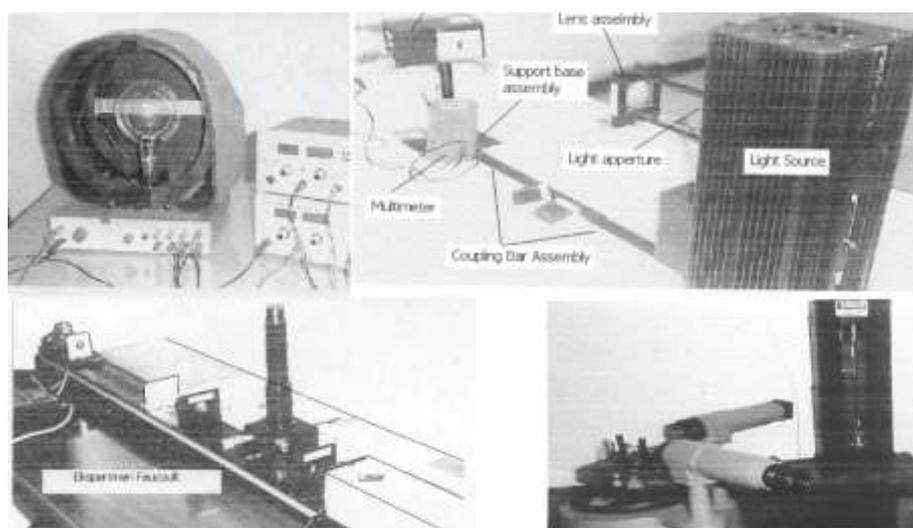


**BUKU PANDUAN PRAKTIKUM
(LAB MANUAL)
EKSPERIMEN FISIKA I (MAF 1519)**



Nama Praktikan :.....

NIM :.....

Kelompok :.....

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

SEPTEMBER 2018

**BUKU PANDUAN PRAKTIKUM (LAB MANUAL)
EKSPERIMEN FISIKA I (MAF 1519)**

Edisi 16, September 2018

Disusun Oleh:

**Tim Penyusun Buku Panduan Praktikum
Laboratorium Fisika Modern
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember**

**Diterbitkan Oleh:
Laboratorium Fisika Modern
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember
Alamat: Jl. Kalimantan III/25, Telf: 0331 339064**

DAFTAR ISI

No.	Deskripsi	Halaman
1.	Halaman Judul	1
2.	Halaman Hak Cipta	2
3.	Daftar Isi	3
4.	Kata Pengantar	4
5.	Tata tertib, Prosedur Praktikum dan Keselamatan Laboratorium	5
6.	Penilaian Hasil Kerja Laboratorium	7
7.	Panduan Penulisan Laporan	8
8.	Format Laporan Mingguan	8
9.	Format Laporan Akhir	9
10.	<i>Errors, Significant Figures and Rounding off</i>	11
11.	JUDUL-JUDUL EKSPERIMEN	
	1. Tetes Minyak Milikan	18
	2. Ekperimen Sinar Katoda (e/m)	26
	3. Efek Fotolistrik (h/e)	32
	4. Spektrum Kisi	38
	5. Difraksi Fraunhofer dengan Laser HeNe	41
	6. Radiasi Termal (Kubus Leslie)	48
12.	Lampiran	
13.	Rekapitulasi Nilai Praktikum	54
14.	Format Lembar Data Pengamatan	55

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas terselesaikannya buku panduan praktikum Eksperimen Fisika I edisi ke-16 (September 2018). Buku Panduan ini dirintis oleh Drs. Imam Rofi'i. M.Sc & , Dr. Artoto Arkundanto, S.Si, M.Si. Berbagai upaya perbaikan dan revisi telah dilakukan oleh Mutmainnah, S.Si, M.Si beserta tim Pengampu Mata Kuliah Eksperimen Fisika I. Buku panduan praktikum edisi ini kembali mengalami perbaikan minor pada beberapa modul praktikum.

Modul-modul eksperimen dalam buku panduan ini disusun agar praktikan memiliki kompetensi dalam mengukur dan menganalisis gejala fisika berdasarkan konsep prinsip yang diberikan dalam mata kuliah Fisika Modern dan Gelombang dengan cara mengalami atau mengamati secara langsung berbagai gejala yang berdasar pada berbagai konsep dan prinsip di atas. Dengan demikian mahasiswa menguasai berbagai teknik eksperimen fisika dalam merencanakan eksperimen, menggunakan berbagai alat ukur, melakukan pengambilan data, analisis data, dan interpretasi hasil eksperimen. Dalam bidang afektif diharapkan agar tertanam sifat empiris fisika, yaitu bahwa pernyataan-pernyataan ilmu pengetahuan harus didukung dengan pembuktian empiris melalui eksperimen yang sah. Selain itu melalui eksperimen ini juga dapat ditanamkan sikap kejujuran dan tanggung jawab dalam melakukan eksperimen.

Untuk mencapai kompetensi-kompetensi tersebut secara maksimal, praktikan harus memahami konsep-konsep dasar dalam mata kuliah Fisika Modern dan Gelombang, menggali informasi & memahami prinsip kerja peralatan yang digunakan (dalam beberapa hal perlu konfirmasi asisten/teknisi), hati-hati dan bertanggung dalam menggunakan peralatan dan mengukur serta menyajikannya secara benar-terpercaya.

Selanjutnya saya ucapkan banyak terima kasih pada seluruh tim pengampu mata kuliah Eksperimen Fisika 1 2018/2019 (Ir. Misto, M.Si, Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si & Endhah Purwandari, S.Si, M.Si) yang telah membantu menyempurnakan buku panduan ini. Akhirnya untuk kesempurnaan dan perbaikan buku panduan ini, saran dan masukan yang membangun kami harapkan.

Jember, September 2018

Kalab.
Fisika Modern

TATA TERTIB, PROSEDUR PRAKTIKUM DAN KESELAMATAN LABORATORIUM

Tata Tertib Praktikum:

1. Praktikan harus hadir di laboratorium 10 menit sebelum praktikum dimulai.
2. Praktikan wajib berpakaian rapi, sopan dan memakai sepatu. Pakaian tidak boleh dari bahan jeans dan kaos, praktikan perempuan gunakan rok, sepatu bertali.
3. Selama praktikum, praktikan dilarang makan, minum, dan merokok.
4. Selama praktikum, praktikan dilarang melakukan aktivitas selain yang ada kaitannya dengan praktikum dan selalu menjaga kebersihan laboratorium.
5. Ijin tidak bisa mengikuti praktikum hanya bisa dilakukan dengan alasan sakit (dibuktikan dengan surat keterangan dokter) dan surat dispensasi (kepentingan akademik).
6. Bagi praktikan yang berhalangan hadir tanpa ijin sesuai kriteria poin 5 tidak diberikan kesempatan inhal (praktikum susulan).
7. Inhal dapat dilakukan dengan **persetujuan dosen pembina** dengan memperhatikan masukan dari asisten dan kemudian dikoordinasikan dengan ketua laboratorium dan pranata laboratorium.
8. Inhal (praktikum susulan) dilakukan (setelah disetujui) dengan **mendaftar ulang ke pranata laboratorium (teknisi)** untuk praktikum yang akan dilakukan.
9. Inhal tidak boleh lebih dari 2 modul praktikum, jika lebih diharuskan mengulang mata kuliah eksperimen fisika tahun depan.

Prosedur Praktikum:

1. Sebelum **praktikum** berlangsung (untuk tiap modul), praktikan harus membuat rancangan praktikum (proposal), tugas pendahuluan dan sudah lulus **pre-test**. Perhatikan jadwal pretes (1 minggu sebelum praktikum), jika tidak lulus pretes atau tidak dapat mengikuti pretes (dengan ijin sakit atau kepentingan akademik), dosen dapat menjadwalkan pretes di luar jadwal yang telah ditentukan dan harus dilaksanakan sebelum praktikum berlangsung. Tanpa nilai rancangan praktikum, tugas pendahuluan dan pretes, nilai kegiatan praktikum dan laporan mingguan dibatalkan.
2. Dalam setiap **praktikum** berjalan, praktikan mencatatkan hasil/data pengamatan pada **lembar data pengamatan** yang mencakup:
 - Judul praktikum
 - Tanggal praktikum, hari, jam dan tempat praktikum.
 - Nama kelompok, anggota kelompok
 - Nama asisten.
 - Tabel data pengamatan
 - Catatan-catatan penting yang teramati selama praktikumLembar data pengamatan diperiksa dan disahkan/diparaf oleh asisten dan wajib dilampirkan dalam setiap laporan mingguan.
3. Selama praktikum berlangsung **asisten** hendaknya mengawasi jalannya praktikum secara aktif dan tidak menunggu sampai praktikan mendapatkan masalah.

4. Setiap selesai memandu praktikum, **asisten** harus menuliskan peristiwa yang terjadi selama praktikum berlangsung pada buku JURNAL PRAKTIKUM.
5. Setiap 2 minggu **praktikan** wajib mengumpulkan laporan mingguan dengan format sesuai ketentuan yang akan dinilai oleh asisten. Tugas-tugas yang diberikan harus diulas dalam laporan ini. Buatlah analisis berdasarkan teori/konsep dasar dan hasil pengolahan data.
6. Setelah semua praktikum (6 modul) selesai, **mahasiswa** diminta menyerahkan laporan akhir dengan format sesuai ketentuan (format jurnal ilmiah) untuk satu topik yang akan diberikan. Laporan akhir akan dinilai oleh dosen Pembina.

Keselamatan Laboratorium:

1. Selama praktikum berlangsung, praktikan harus berhati-hati dalam menggunakan peralatan praktikum. Alat-alat yang digunakan dalam praktikum sangat sensitif, oleh karena itu pastikan semua bagian peralatan praktikum terangkai dengan benar (jika perlu tanyakan kepada asisten)
2. Selalu memperhatikan sambungan ke listrik PLN sudah benar atau belum.
3. Praktikan harus mengutamakan keselamatan kerja, kerusakan alat akibat kecerobohan/kesalahan prosedur menjadi tanggung jawab praktikan.
4. **Jangan memandang langsung (lurus kearah sumber) sinar laser.**
5. Setelah praktikum selesai, praktikan harus memastikan peralatan sudah dikembalikan seperti kondisi semula.

PENILAIAN HASIL KERJA LABORATORIUM

Penilaian pada matakuliah Eksperimen Fisika II (MAF 1620) didasarkan pada komponen-komponen berikut:

No.	Point-Point	Prosentase
1.	Pra praktikum(rancangan praktikum 10%, tugas pendahuluan 5%, dan pretest 10%)	25%
2.	Pelaksanaan praktikum (Praktikum, Laporan Mingguan)	50%
3.	Laporan Resmi	10%
4.	Seminar (UAS) + poster	15%
	Total	100%

Nilai-nilai sementara akan direkam dalam lembar REKAPITULASI NILAI PRAKTIKUM.

PANDUAN PENULISAN LAPORAN

A. Laporan Mingguan

Penulisan laporan mingguan secara umum mengikuti PPKI Universitas Jember tahun 2016 dengan beberapa penyesuaian dan penyederhanaan. Berikut format penulisan laporan mingguan :

1. Halaman Sampul

Halaman sampul laporan mingguan Eksperimen Fisika I & II wajib memuat: (a) logo universitas, (b) judul, (c) Laporan Mingguan Ekperimen Fisika II, (d) identitas (nama Praktikan, NIM, Kelompok & Nama Asisten), (e) institusi (Nama Laboratorium-Jurusan-Fakultas-Universitas), dan (f) tahun

2. Ringkasan

Ringkasan (*summary*) adalah penyajian secara singkat bagian-bagian dari substansi Laporan Mingguan. Dalam ringkasan diuraikan secara singkat latar belakang, tujuan, metode pelaksanaan kegiatan, hasil kegiatan, dan kesimpulan. Ringkasan ditulis dalam bahasa Indonesia yang tidak lebih dari 300 kata atau setara dengan 1 halaman ukuran A4 dengan jarak antarbaris 1,5 spasi.

3. Daftar Isi, Daftar Tabel, Daftar Gambar dan Daftar Lampiran

Daftar isi memuat semua judul bab, subbab, dan subsubbab yang tercantum dalam karya ilmiah dengan masing-masing halamannya. Format untuk penulisan daftar isi secara mendetail silahkan dilihat pada buku PPKI Universitas jember tahun 2016. Demikian juga untuk daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran. Sebisa mungkin gunakan fasilitas di MS Office (*table of content, tabel of figure* dll).

4. Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan praktikum.

5. Dasar Teori

Dasar teori atau tinjauan pustaka meliputi kajian teori berkaitan dengan praktikum yang dilakukan. Teori yang disajikan dalam modul praktikum dijelaskan secara lebih mendetail. Demikian juga dengan rumus-rumus yang ada seharusnya diturunkan dan diuraikan secara rinci. Dasar teori tidak boleh meng-copy seperti apa adanya di buku panduan. Mahasiswa harus dapat menuliskan dengan cara dan fikirannya sendiri. Gunakan minimal 5 referensi selain modul praktikum. Dasar teori minimal disajikan dalam dua subbab.

6. Metode Penelitian/Praktikum

Metode Penelitian merupakan bagian yang menjelaskan bagaimana praktikum dilaksanakan oleh praktikan. Metode penelitian untuk kegiatan eksperimental menguraikan komponen-komponen yang terdiri atas (a) rancangan penelitian, (b) jenis dan sumber data, (c) definisi operasional variabel, (d) metode analisis data dan (f) kerangka pemecahan masalah

7. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini dipaparkan secara rinci pemecahan masalah melalui analisis data dengan menggunakan metode, teknik, dan landasan teori yang telah dipilih. Secara umum, hasil praktikum disajikan secara bertahap dalam tiga bagian, yaitu: (i) uraian data, (ii) penelaahan analisis dan hasil penelitian ringkas (uraian dan olahan data secara rinci dapat ditempatkan

pada lampiran), (iii) pembahasan dan penjelasan sintesisnya. Eksperimen fisika merupakan sarana pembuktian teori-teori yang sudah ada sehingga seharusnya terdapat kesesuaian antara hasil praktikum dengan teori. Bandingkan hasil saudara dengan referensi yang ada (sesuai dengan teori-teori yang tertuang pada tinjauan pustaka) atau perhitungan secara teori, **Bahas secara mendalam dan jelaskan!** Jika mungkin tampilkan hasil saudara bersama-sama hasil secara teori dan referensi lain dalam satu grafik! Hasil penelitian dibandingkan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan :

- (i) Setiap variabel fisis yang diukur harus disertakan satuannya
- (ii) Jangan lupa menuliskan/menyertakan ralat untuk hasil anda
- (iii) Cari hasil pengamatan yang telah dilakukan orang lain bila ada sebagai pembanding/referensi.
- (iv) Hitung dan tuliskan hasil secara benar dengan memperhatikan ralat dan konsep angka penting. Ingat setiap menuliskan hasil harus dengan ralat beserta satuannya, misalkan tahanan $R = (10,1 \pm 0,5) \Omega$.
- (v) Tampilkan grafik secara baik (dengan software Spreadsheet Excel atau software lainnya). Grafik harus ada judul grafik, nama sumbu grafik, skala yang proporsional.

8. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan pernyataan yang tegas, tidak menimbulkan multitafsir, dan merupakan pernyataan akhir penalaran deduktif-induktif sebagai jawaban atas permasalahan yang dikaji.

9. Daftar Pustaka

memuat judul-judul buku, jurnal dll yang digunakan sebagai referensi.

10. Lampiran

Terdiri dari lembar data pengamatan yang disahkan oleh asisten dan pengolahan data secara rinci.

Catatan:

- (i) Hindari plagiarisme, tindak plagiarisme dapat dipenalti dengan pembatalan nilai.
- (ii) Laporan mingguan dijilid sederhana dan rapi
- (iii) Laporan mingguan wajib diserahkan kepada asisten sebelum praktikum dimulai (Jam 07.00 untuk shift 1-2 dan 12.30 untuk shift 3-4). Tanpa laporan mingguan praktikum sebelumnya, mahasiswa dilarang ikut praktikum tanpa inhaln.
- (iv) Asisten diharapkan benar-benar menilai laporan sesuai arahan dosen pembina dan kepala laboratorium.
- (v) Laporan dengan nilai di bawah standar (< 60) dapat dikembalikan ke praktikan untuk direvisi dengan waktu maksimal 2 hari.

B. Laporan Akhir (*Final Report*)

Laporan akhir (salah satu judul praktikum) diketik rapi dalam format jurnal ilmiah, kertas HVS A4, misalnya seperti berikut ini (boleh dalam bahasa inggris):

Judul Percobaan/Title

Nama Penulis

Nama Jurusan, Fakultas dan Universitas

Alamat Email

Abstrak (Abstract)

(Secara ringkas kurang lebih 100 kata. Memuat apa yang dilakukan dalam praktikum, metodenya bagaimana dan menampilkan hasil akhir. Jangan lupa menuliskan hasil beserta ralat dan satuannya. Sertakan kesimpulan singkat terhadap hasil yang diperoleh. Tulis bagian ini setelah menuliskan bagian yang lain selesai.)

1. **Pendahuluan** (Introduction).

Memuat latar belakang dilakukannya praktikum dan ulasan teori yang mendasari praktikum. Tampilkan juga penurunan teoretik yang telah saudara dapatkan. Tuliskan juga rumusan dan tujuan eksperimen. Pendahuluan ditulis secara singkat namun ini penting.

2. **Metode Eksperimen** (Experimental Methods).

Deskripsi metode. Bila dapat berikan dalam bentuk flowchart, block atau diagram. Bagaimana cara mendapatkan data?. Apa yang akan diukur/dibaca oleh alat? Berapa kali penukaran dan berapa data yang diambil?

3. **Hasil** (Result).

Tuliskan hasil beserta ralatnya. Jelaskan dengan rumus apa hasil dihitung. Diskusikan ketidakpastian pengukuran. Bedakan antara ralat acak (random errors) dan ralat sistematis (systematic errors) yang berpengaruh pada percobaan saudara.

4. **Diskusi** (Discussion)

Bandingkan hasil saudara dengan referensi yang ada (sesuai literatur). Bandingkan hasil saudara dengan perkiraan secara teori. Jika mungkin tampilkan hasil saudara bersama-sama hasil secara teori dan referensi lain dalam satu grafik! (tampilkan ini dalam bentuk titik-titik data beserta "error bars").

5. **Kesimpulan dan saran**

Simpulkan hasil data dan diskusi di atas dan berikan saran

6. **Daftar Pustaka** (References)

Semua hal yang saudara tulis yang bukan berasal dari saudara sendiri harus disebutkan referensinya.

Contoh:

1. G.L. Squires, 1986, *Practical Physics*, Cambridge: Cambridge University Press.

Catatan tambahan:

- a) **Gambar.** Gambar (grafik, atau yang lain) yang ditampilkan harus diberi nomor urut dan judul gambar, dituliskan di bawah gambar rata tengah.
- b) **Persamaan/rumus.** Persamaan yang muncul harus diberi nomor urut dan dituliskan rata kanan.
- c) **Tabel.** Tabel harus diberi nomor urut dan judul tabel, dituliskan rata kiri di atas tabel.

ERRORS, SIGNIFICANT FIGURES AND ROUNDING OFF

Error/Uncertainty (ralat)

Every time you want to present an experimental result (data), you write as below:

$$R = (R_{the\ best} \pm \Delta R) \text{ unit}$$

$R_{the\ best}$ will depend on your own situation. $R_{the\ best}$ may appear from the only single measurement or from the repeating measurements or from the calculation using certain formula. Whereas ΔR will depend on how you got your $R_{the\ best}$. Lets you know the criteria:

- i). $R_{the\ best}$ is from single measurement. What is the error ΔR ? You can take this value of a half of the least scale of measurement gauge.
- ii) $R_{the\ best}$ is from the repeating measurements. You can get this value by this *mean* formula:

$$R_{the\ best} = \sum_{i=1}^N R_i / N \quad \text{for } N \text{ times measurement.}$$

How can you get your error? If the experimenter squares each deviation from the mean, averages the squares, and takes the square root of that average, the result is a quantity called the "root-mean-square" or the "standard deviation" ΔR of the distribution. It measures the random error or the statistical uncertainty of the individual measurement R_i :

$$\Delta R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - R_{the\ best})^2}{N - 1}}$$

About two-thirds of all the measurements have a deviation less than one ΔR from the mean and 95% of all measurements are within two ΔR of the mean. In accord with our intuition that the *uncertainty of the mean* should be smaller than the uncertainty of any single measurement, measurement theory shows that in the case of random errors the standard deviation of the mean ΔR_{mean} is given by:

$$\Delta R_m = \Delta R / \sqrt{N},$$

where N is the number of measurements used to determine the mean.

Whenever you make a measurement that is repeated N times, you are supposed to calculate the mean value and its standard deviation as just described. For a large number of measurements this procedure is somewhat tedious. If you have a calculator with statistical functions it may do the job for you. There is also a simplified prescription for estimating the random error which you can use. Assume you have measured the fall time about ten times. In this case it is reasonable to assume that the largest measurement t_{max} is approximately $+2\Delta R$ from the mean, and the smallest t_{min} is $-2\Delta R$ from the mean. Hence:

$$\Delta R \approx 1/4 (R_{max} - R_{min})$$

is an reasonable estimate of the uncertainty in a single measurement. The above method of determining ΔR is a rule of thumb if you make of order ten individual measurements (i.e. more than 4 and less than 20).

iii) $R_{the\ best}$ was from the calculation of the certain formula (usually function of more than two variables). You can find your error from the error propagation method!. For example if $R = R(x,y,z)$ then your error will be:

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial z}\right)^2 (\Delta z)^2}$$

iv) $R_{the\ best}$ is from the graph. Sometime you got your $R_{the\ best}$ from the linear equation (from graph) like $y = Ax + B$. In this case the $R_{the\ best} = A$ is the slope of the graph and you can get this value using the EXCEL spread sheet for example. What is the error of $R_{the\ best}$? You can use this formula:

$$A = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$B = \frac{\sum y_i - A \sum x_i}{N}$$

Before you calculate above A and B you need to table:

x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	xy
$\sum x_i$	$\sum y_i$	$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$\sum xy$

Errors in this graph are:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-2} \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - A \sum_{i=1}^N x_i y_i - B \sum_{i=1}^N y_i \right)}$$

$$\sigma_A = \frac{\sigma_y N^{1/2}}{[N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2]^{1/2}}$$

$$\sigma_B = \sigma_A \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

So

$$(y \pm \sigma_y) = (A \pm \sigma_A)x + (B \pm \sigma_B)$$

Significant Figure (angka penting)

For measured numbers, significant figures relate the certainty of the measurement. As the number of significant figure increases, the more certain the measurement. The means for obtaining the measurement also becomes more sophisticated as the number of significant figures increase. You have two competing goals:

1. To compute as exactly as possible.
2. To be truthful about the limitations of your input data

Scientific notation is the most reliable way of expressing a number to a given number of significant figures. In scientific notation, the power of ten is insignificant. For instance, if one wishes to express the number 2000 to varying degrees of certainty:

2000 \longrightarrow 2×10^3 is expressed to one significant figure

2000 \longrightarrow 2.0×10^3 is expressed to two significant figures

2000 \longrightarrow 2.00×10^3 is expressed to three significant figures

2000 \longrightarrow 2.000×10^3 is expressed to four significant figures

What do these numbers imply as to the certainty? Let's see what the number can be distinguished from:

The number 2000 to one significant figure lies between:

$$1 \times 10^3 = 1000, \quad 2 \times 10^3 = 2000, \quad 3 \times 10^3 = 3000$$

It is a number that lies between 1000 and 3000 -- not very certain, is it.

The number 2000 to two significant figures lies between:

$$1.9 \times 10^3 = 1900, \quad 2.0 \times 10^3 = 2000, \quad 2.1 \times 10^3 = 2100$$

It is a number that lies between 1900 and 2100 -- more certain than before.

The number 2000 to three significant figures lies between:

$$1.99 \times 10^3 = 1990, \quad 2.00 \times 10^3 = 2000, \quad 2.01 \times 10^3 = 2010$$

It is a number that lies between 1990 and 2010 -- more certain, still.

The number 2000 to four significant figures lies between:

$$1.999 \times 10^3, \quad 2.000 \times 10^3, \quad 2.001 \times 10^3$$

It is a number that lies between 1999 and 2001 -- even more certain.

The more significant figures in a measurement, the more sophisticated the means of measurement. You will see this in the laboratory.

When handling significant figures in calculations, two rules are applied:

Multiplication and division -- round the final result to the least number of significant figures of any one term, for example:

$$\frac{(15.03)(4.87)}{1.987} = 36.8$$

The answer, 36.8, is rounded to three significant figures, because least number of significant figures was found in the term, 4.87. The other terms, 15.03 and 1.987, each had 4 significant figures.

Addition and subtraction -- round the final result to the least number of decimal places, regardless of the significant figures of any one term, for example:

$$\begin{array}{r} 1.003 \\ 13.45 \\ + 0.0057 \\ \hline 14.4587 \end{array} \text{ rounds off to } 14.46$$

The answer, 14.4587, was rounded to two decimal places, since the least number of decimal places found in the given terms was 2 (in the term, 13.45).

Suppose more than one mathematical operation is involved in the calculation? Such a calculation may be "deceptive" as to how many significant figures are actually involved. For instance:

$$\frac{(8.34 - 7.84)}{(15.05)(2.01)} = ?$$

The subtraction in the numerator must be performed first to establish the number of significant figures in the numerator. The subtraction results in:

$$\frac{0.50}{(15.05)(2.01)} = 0.017$$

Since the subtraction in the numerator resulted in a number to two significant figures (rounding to two decimal places), and the least number of significant figures in the resulting expression involving multiplication and division is now two significant figures, the final result must be rounded to two significant figures.

Rounding Off Numbers (Pembulatan)

In correcting a number to express the proper number of sig. fig., we often have to drop off unwanted digits. The rules for rounding off numbers are explained in your textbook and/or lab manual. Here is a summary of rules for rounding off numbers:

If the digit immediately to the right of the last sig. fig. is more than 5, you round up.

If the digit immediately to the right of the last sig. fig. is less than 5, you round down.

35.76 in 3 sig. fig. is 35.8 (round up because it is more than half-way between 35.7 and 35.8)

35.74 in 3 sig. fig. is 35.7 (round down because it is less than half-way between 35.7 and 35.8)

If the digit immediately to the right of the last sig. fig. is equal to 5, you round up if the last sig. fig. is odd. You round down if the last sig. fig. is even. You round up if 5 is followed by nonzero digits, regardless of whether the last sig. fig. is odd or even.

24.35 in 3 sig. fig. is 24.4 (round up because last sig. digit is 3, an odd number)

24.25 in 3 sig. fig. is 24.2 (round down because last sig. digit is 2, an even number)

24.258 in 3 sig. fig. is 24.3 (round up because the digits 58 means it is past halfway to 24.3)

After rounding off, if the resulting number has ambiguous zeroes, it should be recorded in scientific notation to avoid ambiguity.

34821.0 in 2 sig. fig. is 35000 where the three zeroes may or may not be significant. The correct answer is 3.5×10^4 .

Analyzing the Results

Every time you had found your results, via measurement or calculation. How can you treat this? One formula that you can use for analyzing your result is:

$$\text{Discrepancy}(D) = \left| \frac{R_{\text{thebest}} - R_{\text{reference}}}{R_{\text{reference}}} \right| \times 100\%$$

Generally your result is a good enough if the discrepancy is relatively small, $D < 5\%$.

EKSPERIMEN-EKSPERIMEN

I TETES MINYAK MILLIKAN

I. Tujuan Eksperimen :

1. Menentukan muatan tetes minyak e_n ,
2. Menentukan muatan satuan elektron e
3. Menunjukkan sifat diskrit muatan elektron,
4. Menentukan bilangan Avogadro (N)

II. Peralatan yang digunakan :

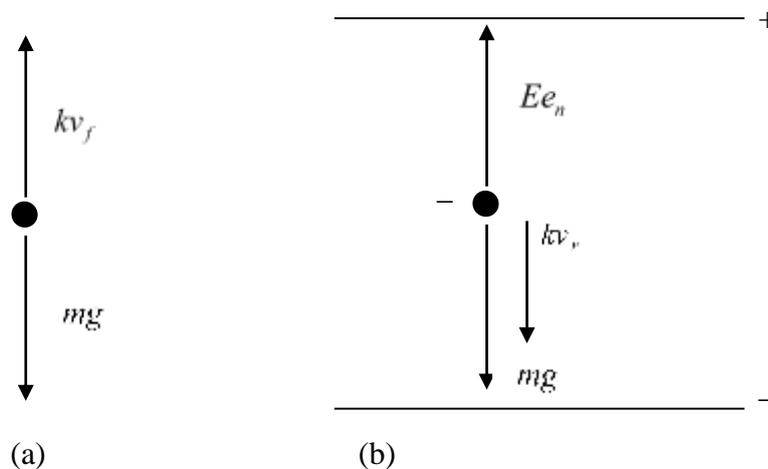
1. Millikan Oil Drop Apparatus
2. Adaptor DC 12 volt
3. High voltage DC power supply
4. Multimeter digital
5. Atomizer + minyak $\sigma = 886 \text{ kg/m}^3$
6. Stopwatch
7. Barometer

III. Teori

Elektron mempunyai peran yang besar dalam memahami gejala kelistrikan dan kemagnetan hingga saat ini. Akan tetapi keberadaan elektron belum diketahui hingga tahun 1890 ketika J.J Thompson melakukan percobaan tabung sinar katoda yang menghasilkan tetapan standart elektron (e/m). Pengukuran tetapan e mula-mula dilaksanakan oleh J.S Townsend pada tahun 1897, namun hasilnya tidak cukup memuaskan. Pengukuran yang lebih baik dilakukan oleh Robert A. Millikan (1868-1953) melalui percobaan tetes minyak Millikan, yang telah menghasilkan harga muatan elektron (e) secara akurat dan juga telah menunjukkan bahwa muatan elektron bersifat diskrit. Robert Millikan melakukan percobaan dengan menyeimbangkan gaya-gaya antara gaya gravitasi dan gaya listrik pada suatu tetes kecil minyak yang berada di antara dua buah pelat konduktor.

Pada eksperimen tersebut, ketika minyak jatuh di udara akan mengalami percepatan ke bawah yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan pada saat yang sama gerak tetes minyak tersebut dihambat oleh gaya Stokes. Kecepatan tetes minyak akan meningkat sampai tercapai

kecepatan stasioner ketika gaya berat ke bawah sama dengan gaya Stokes ke atas. (Gambar 1.1.a)



Gambar 1.1 Gaya-gaya pada tetes minyak Millikan

Pada keadaan ini dipenuhi kesetimbangan gaya:

$$\begin{aligned} F_g &= F_s \\ mg &= kv_f \end{aligned} \quad (1.1)$$

dimana m massa tetes minyak, g percepatan gravitasi, k koefisien gesek udara dan tetes minyak, dan v_f kecepatan turun stasioner. Kemudian tetes minyak tersebut dimuati dan diletakkan diantara dua buah plat konduktor yang diberi beda tegangan sebesar ΔV . Dalam keadaan demikian, tetes minyak akan bergerak ke atas. Kecepatan ke atas akan meningkat sampai tercapai keadaan stasioner ketika dipenuhi kesetimbangan gaya (seperti gambar 1.1.b):

$$\begin{aligned} F_c &= F_g + F_s \\ E e_n &= mg + kv_r \end{aligned} \quad (1.2)$$

dimana E kuat medan listrik diantara dua plat konduktor, e_n muatan tetes minyak, v_r kecepatan naik stasioner.

Dari dua persamaan kesetimbangan gaya tersebut, harga k dapat dieliminasi sehingga diperoleh muatan tetes sebesar:

$$e_n = \frac{m g (v_f + v_r)}{E v_f} \quad (1.3)$$

Besaran massa m dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan volume bola

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 \sigma \quad (1.4)$$

dimana σ adalah rapat massa tetes minyak. Sedangkan radius tetes minyak a dapat ditentukan dari persamaan Stokes:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g(\sigma - \rho)}} \quad (1.5)$$

dimana η adalah viskositas udara dan ρ adalah rapat massa udara.

Dari harga m yang diberikan oleh persamaan (1.4), maka dapat diperoleh muatan tetes sebesar:

$$e_n = \frac{4}{3}\pi a^3 \sigma g \frac{(v_f + v_r)}{E v_f} \quad (1.6)$$

Hukum Stokes hanya berlaku ketika kecepatan tetes minyak lebih besar dari 0,1 cm/s. Mengingat bahwa radius tetes minyak berkisar pada harga ($a < 2 \times 10^{-6} \text{ cm}$) dengan kecepatan antara 0,01 cm/s - 0,001 cm/s, maka perlu diberikan koreksi terhadap persamaan Stokes. Faktor koreksi yang digunakan adalah:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta \left[\frac{1}{1 + b/pa} \right]^{3/2} \quad (1.7)$$

dimana b sebuah konstanta, a radius tetes minyak, dan p tekanan atmosfer.

Besar kuat medan listrik antara plat konduktor dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E = \Delta V / d \quad (1.8)$$

dimana ΔV adalah beda tegangan diantara dua plat dan d adalah jarak antar pelat. Jika E diukur dalam satuan elektrostatik (esu) maka didapatkan hubungan:

$$E(\text{esu}) = \Delta V / 300d \quad (1.9)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (1.5), (1.7), dan (1.9) ke persamaan (1.6), kita peroleh persamaan untuk menentukan nilai muatan tetes minyak sebagai berikut;

$$e_n = 400d\pi\sigma \left[\left(\frac{9\eta}{2(\sigma - \rho)} \right)^3 \frac{1}{g} \right]^{1/2} \left[\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right]^{3/2} \frac{(v_f + v_r)}{(\Delta V)} \sqrt{v_f} \quad (1.10)$$

dimana:

- e_n : muatan tetes minyak (esu)
- d : jarak antar kedua plat (cm)
- σ : rapat massa minyak (g/cm^3)

- ρ : rapat massa udara (g/cm^3)
 g : percepatan gravitasi (cm/s^2)
 η : viskositas udara (dyne s/cm^2)
 b : konstanta ($= 6,17 \times 10^{-4} \text{ cm}^2\text{Hg}$)
 p : tekanan atmosfer (cmHg)
 a : jari-jari tetes minyak (cm)
 v_f : kecepatan jatuh stasioner (cm/s)
 v_r : kecepatan naik stasioner (cm/s)
 ΔV : beda tegangan antar plat (volt)

Harga e yang diperoleh dari eksperimen ini dapat digunakan untuk menghitung harga bilangan Avogadro (N), yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$N = \frac{2,895 \times 10^{14} (\text{esu /gram berat ekuivalen})}{e (\text{esu})} \quad (1.11)$$

IV. Tugas Pendahuluan:

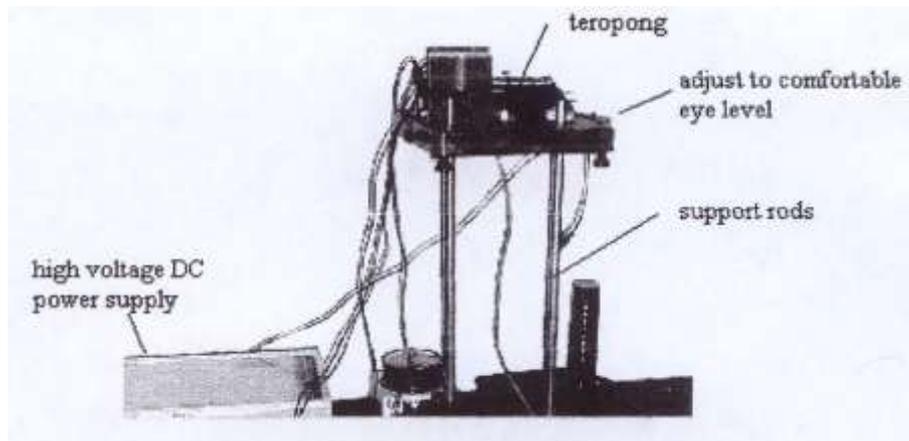
- Jelaskan apa yang dimaksud dengan sifat diskrit muatan elektron !
- Berapa muatan satuan elektron dalam satuan coulomb dan esu ?
- Jika radius tetes minyak sebesar $1,64 \mu\text{m}$ dan kuat medan listrik E diantara dua plat konduktor pada saat kesetimbangan sebesar $1,92 \times 10^5 \text{ N/C}$, tentukan berapa muatan pada tetes minyak tersebut dalam satuan e !
- Sebuah medan listrik uniform E dibangkitkan diantara dua buah plat konduktor. Jika pada daerah medan tersebut terdapat sebuah bola massa m yang dihubungkan dengan tali panjang l sehingga membentuk bandul sederhana. Tentukan berapa perioda ayunannya pada saat bola tersebut diberi muatan listrik sebesar $+q$ dan plat bagian bawah diberi tegangan positif !
- Jelaskan apa yang dimaksud dengan kecepatan stasioner v_f dan v_r !
- Pada suatu eksperimen anda memperoleh harga-harga muatan tetes seperti berikut:

$6,563 \times 10^{-19} \text{ C}$	$13,13 \times 10^{-19} \text{ C}$	$19,71 \times 10^{-19} \text{ C}$
$8,204 \times 10^{-19} \text{ C}$	$16,48 \times 10^{-19} \text{ C}$	$22,89 \times 10^{-19} \text{ C}$
$11,50 \times 10^{-19} \text{ C}$	$18,08 \times 10^{-19} \text{ C}$	$26,13 \times 10^{-19} \text{ C}$

 Berapa harga muatan elementer elektron (e) yang dapat ditarik dari harga-harga tersebut?

V. Tata Laksana Eksperimen

1. Susunlah peralatan seperti pada diagram berikut:



Gambar 1.2 Susunan eksperimen tetes minyak Millikan

Perhatian:

- a. Sebelum melakukan pengukuran anda harus meletakkan peralatan tetes Millikan pada posisi horizontal dengan melihat gelembung air pada level meter tepat di pusat lingkaran,
 - b. Anda harus meletakkan posisi *switch charging* pada posisi nol,
 - c. Adaptor (DC 12 volt) dan DC power supply pada posisi off,
 - d. Anda harus meletakkan posisi *switch ionization source lever* pada posisi OFF.
2. Setelah peralatan siap (tunjukkan kepada asisten), hidupkan lampu halogen dengan memasang adaptor DC 12 volt.
 3. Letakkan jarum pemfokus pada bagian atas *chamber*. Amati jarum pemfokus pada *chamber* melalui mikroskop, atur lensa belakang sehingga anda dapat melihat dengan jelas pada jarum pemfokus dan atur lensa depan sehingga anda dapat melihat grid dengan jelas. Pindahkan jarum pemfokus dari *chamber*.
 4. Siapkan *atomizer* yang berisi minyak, kemudian siapkan *atomizer* pada posisi siap menyemprot, Arahkan *nozle atomizer* tegak lurus pada lubang *chamber*. Pindahkan posisi *switch ionization source lever* ke posisi *SPRAY DROPLET*.
 5. Sambil mengamati *chamber* melalui mikroskop, semprotkan *atomizer* dengan sekali tekan. Tekan sekali lagi untuk mendorong tetes minyak masuk ke dalam *chamber*.
 6. Bila anda sudah melihat hujan tetes-tetes minyak segera pindahkan *ionization source lever* ke posisi OFF.

7. Plat konduktor pada posisi nol (ground). Pilih satu tetes yang mempunyai kecepatan sekitar 0,02 – 0,05 mm/s. Catat kecepatan jatuh tetes minyak yang anda pilih. Jarak **skala utama** sebesar 0,5 mm. Kira-kira diperlukan waktu 15 detik untuk melintasi **skala utama** tersebut.
8. Penembakan dengan sinar alpha. Pindahkan *ionization lever* ke posisi ON selama 3-4 detik, untuk memberi muatan pada tetes yang sama. Selanjutnya berilah tegangan DC pada plat konduktor, dengan memindahkan switch dari nol ke positif. Akan terlihat bahwa dengan merubah tegangan (+ atau -) akan merubah arah gerak tetes, pilih agar tetes tersebut bergerak ke atas. Catat kecepatan naik untuk tetes minyak yang sama (**harus**).
9. Lepaskan tegangan pada plat konduktor (ground), maka tetes akan jatuh lagi dan catat kecepatan jatuhnya. Berilah tegangan pada plat, maka tetes akan naik lagi dan catat kecepatan naiknya.
10. Jika tetes tidak memberikan respon terhadap tegangan plat, maka tembakkan lagi sinar alpha untuk memberi muatan-muatan tetes (3-4) detik). Catat kecepatan jatuh dan naik tetes minyak yang sama.
11. Lakukan pengukuran ini sampai sebanyak 15 pasang kecepatan naik dan kecepatan turun.

Contoh Tabel Data Pengamatan

Catatlah hambatan termistor (temperatur) & tekanan dalam ruang laboratorium! Jarak plat 0,767 cm (medan E) dan harga σ minyak adalah 886 kg/m^3 .

Pengukuran Tetes ke-	Kecepatan Turun		Kecepatan Naik	
	Jarak (cm)	Waktu (s)	Jarak (cm)	Waktu (s)
1 s/d 15				

VI. Tugas Laporan

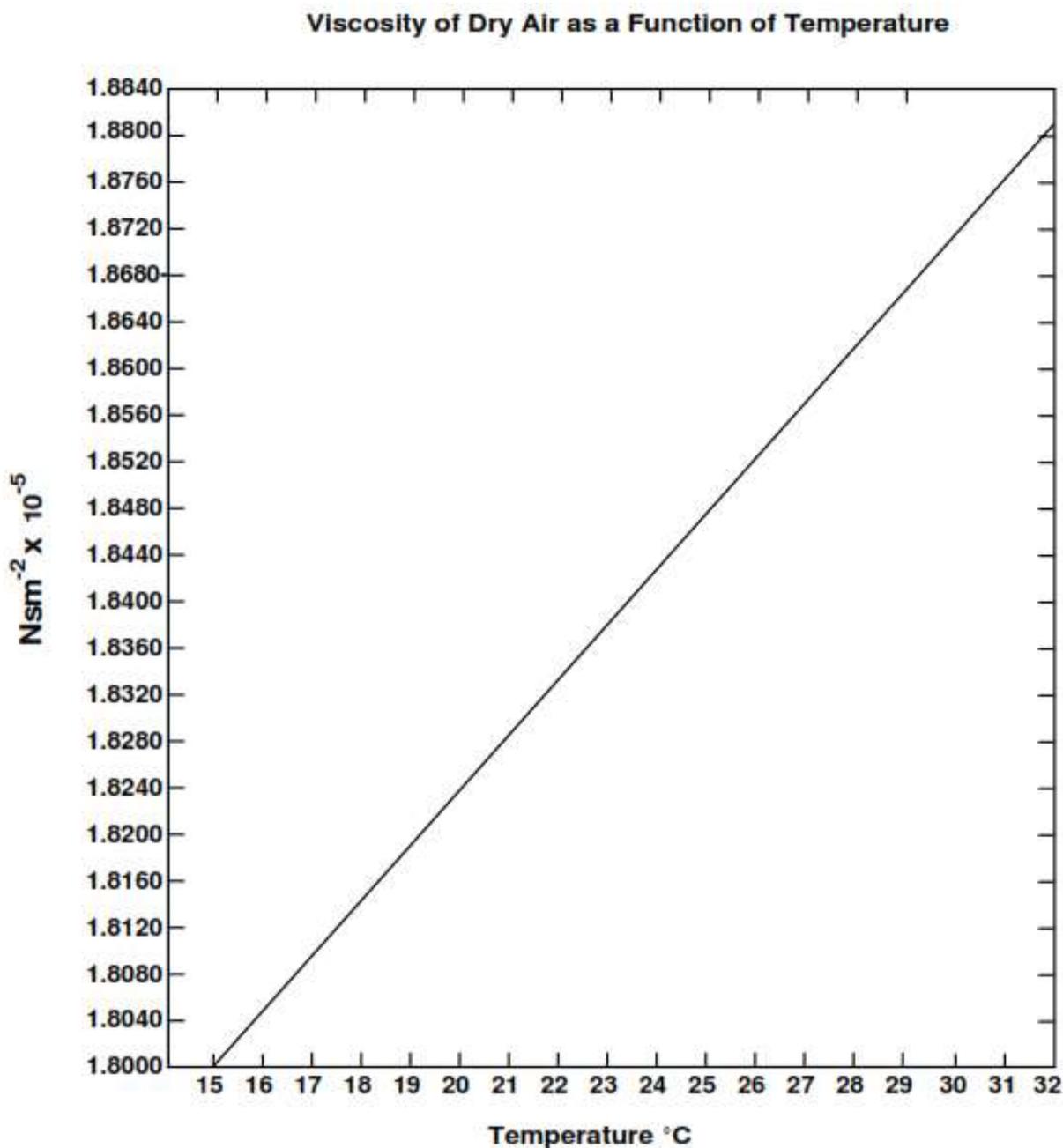
1. Hitung harga muatan tetes minyak untuk setiap pengukuran!
2. Hitunglah selisih muatan tetes pada ke 15 tetes minyak tersebut untuk mendapatkan muatan elementer, tentukan pula diskrepansinya !
3. Jelaskan bagaimana kuantisasi dapat ditunjukkan oleh data eksperimen !
4. Tentukan bilangan avogadro berdasarkan muatan elementer yang telah didapatkan, tentukan pula diskrepansinya !

LAMPIRAN:

1. Kerapatan Udara : $\rho = \rho_0 \frac{p}{760} \frac{273.16}{T}$,

dengan ρ_0 (pada 0°C & 1 ATM) = $1,2929 \text{ kg/m}^3$

Viskositas Udara (dalam $\text{Ns/m}^2 \times 10^{-5}$)



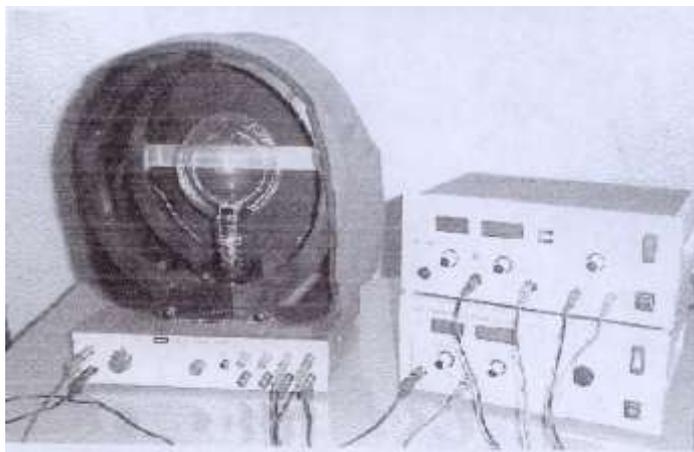
3. Resistansi Termistor Peralatan Millikan

Millikan Oil Drop Apparatus Thermistor Resistance at Various Temperatures

THERMISTOR RESISTANCE TABLE					
°C	X 10⁶ Ω	°C	X 10⁶ Ω	°C	X 10⁶ Ω
10	3.239	20	2.300	30	1.774
11	3.118	21	2.233	31	1.736
12	3.004	22	2.169	32	1.700
13	2.897	23	2.110	33	1.666
14	2.795	24	2.053	34	1.634
15	2.700	25	2.000	35	1.603
16	2.610	26	1.950	36	1.574
17	2.526	27	1.902	37	1.547
18	2.446	28	1.857	38	1.521
19	2.371	29	1.815	39	1.496

II

EKSPERIMEN SINAR KATODA (e/m)



I. Tujuan Eksperimen

Menentukan rasio muatan dan massa elektron (e/m)

II. Peralatan yang digunakan

1. Peralatan pengukuran e/m
2. High voltage DC power supply
3. Low voltage AC/DC power supply
4. Digital voltmeter
5. Kabel penghubung

III. Teori

Penelitian tentang elektron telah dimulai sejak akhir abad sembilan belas ketika para ilmuwan menemukan adanya lucutan berkas pada tabung gas, yang kemudian disebut sinar katoda. Perkiraan harga muatan (e) dengan mengasumsikan bahwa sinar katoda merupakan partikel serta harga perbandingan e/m telah dilakukan sekitar tahun 1897. Akan tetapi pengukuran e/m secara langsung baru dapat dilakukan ketika J.J. Thompson (1856 – 1940) dengan menggunakan peralatan tabung yang dilengkapi dengan medan listrik dan medan magnet. Sinar-sinar katoda dipercepat melalui tegangan tinggi. Kemudian dikendalikan dengan medan magnet yang dibangkitkan oleh sepasang koil.

Jika sebuah partikel bermuatan (elektron) bergerak dengan kecepatan v di daerah dengan kuat medan magnet (B) akan mengalami pembelokan yang diakibatkan oleh timbulnya

gaya magnetik (F_m). Besarnya gaya magnetik ini ditentukan dengan persamaan :

$$\vec{F}_m = e\vec{v} \times \vec{B} \quad (2.1)$$

dimana v kecepatan partikel dan B besar medan magnet, yang dikalikan secara vektor. Karena berkas elektron bergerak pada arah tegak lurus terhadap arah medan magnet B maka $\varphi = 90^\circ$ sehingga $\sin 90^\circ = 1$. Sehingga diperoleh persamaan :

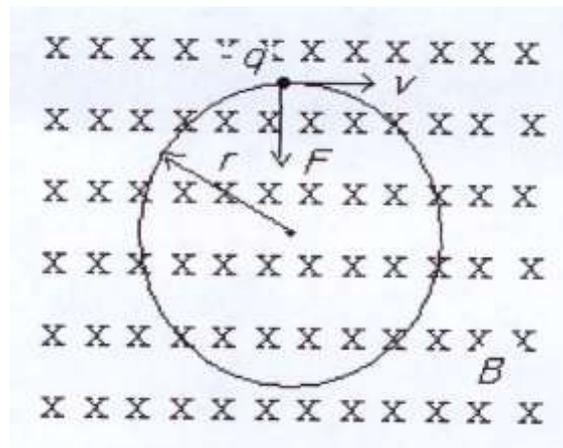
$$F_m = evB \quad (2.2)$$

dimana e adalah muatan elektron.

Karena pengaruh gaya magnetik ini maka gerak elektron membentuk lintasan melingkar. Akibatnya timbul gaya sentripetal yang besarnya:

$$F_e = m \frac{v^2}{r} \quad (2.3)$$

dimana m adalah massa elektron, v kecepatan elektron dan r radius lintasan sinar elektron.



Gambar 2.1: Lintasan elektron dalam daerah B tegak lurus

Karena hanya terdapat satu gaya luar yang bekerja pada elektron yaitu gaya magnetik (F_m) maka pada elektron tersebut terjadi kesetimbangan gaya, dimana:

$$\begin{aligned} F_m &= F_c \\ evB &= m \frac{v^2}{r} \\ \frac{e}{m} &= \frac{v}{Br} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Pada eksperimen ini, berkas elektron diperoleh dengan menggunakan electron gun. Berkas elektron ini kemudian dipercepat melalui beda potensial ΔV . Adanya beda potensial

ini menghasilkan energi potensial elektron ($e\Delta V$) yang seluruhnya diubah menjadi energi kinetik elektron sebesar $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ ketika elektron tersebut mencapai ujung yang lain. Pada posisi ini elektron mempunyai kecepatan sebesar:

$$v = \left(\frac{2e\Delta V}{m}\right)^{1/2} \quad (2.5)$$

Setelah dipercepat elektron akan memasuki daerah yang diberi medan magnet B yang dibangkitkan oleh sepasang koil Helmholtz. Besar medan magnet di daerah koil Helmholtz ditentukan dengan persamaan:

$$B = \frac{N\mu_0 I}{(5/4)^{3/2} a} \quad (2.6)$$

dimana N jumlah lilitan pada Helmholtz coil, I arus yang mengalir, a radius Helmholtz coil dan μ_0 konstanta permeabilitas udara ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$).

Harga Perbandingan muatan dan massa elektron (e/m) diperoleh dari dua besaran kecepatan elektron v dan kuat medan magnet B tersebut, yaitu:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br} = \frac{2\Delta V(5/4)^3 a^2}{(N\mu_0 r I)^2} \quad (2.7)$$

dimana:

ΔV : potensial pemercepat (volt),

a : radius Helmholtz coil ($a = 15$ cm),

N : Jumlah lilitan pada Helmholtz coil ($N = 130$)

I : arus listrik pada Helmholtz coil (ampere),

r : radius sinar elektron (meter)

μ_0 : konstanta permeabilitas udara ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$)

IV. Tugas Pendahuluan

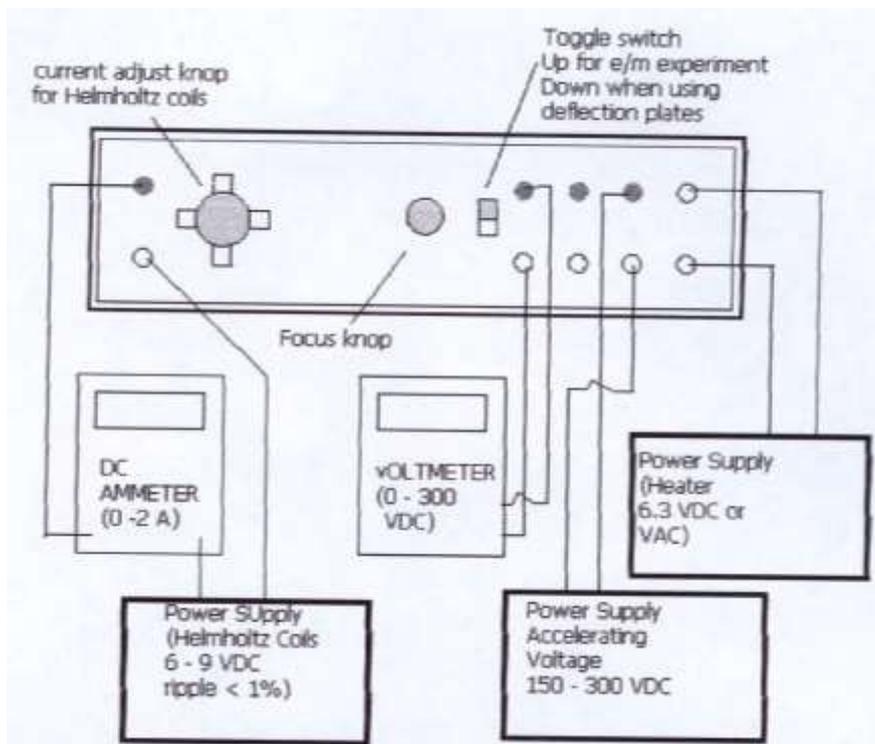
1. Dengan menggunakan HK. Ampere, turunkan rumus besar kuat medan magnet (B) pada pusat solenoida yang mempunyai radius a , panjang L , jumlah lilitan N dan dilewati arus listrik I !
2. Perangkat koil Helmholtz didefinisikan sebagai dua buah kelompok lilitan dengan jumlah lilitan total sebesar N , terpisah sejauh a dan dialiri arus listrik I . Turunkan besar kuat medan magnet yang dibangkitkan oleh sistem ini seperti yang diberikan pada persamaan (2.6).

V. Tata Laksana Eksperimen

Tahap Persiapan

1. Sebelum melakukan pengukuran, anda harus mematikan semua aliran listrik. Lalu susunlah peralatan seperti pada gambar 2.2. Letakkan switch toggle pada posisi up (*e/m* measure),
2. Untuk Koil Helmholtz. Putar pengatur arus Helmholtz coil ke posisi off, hubungkan Helmholtz coil dengan sumber tegangan rendah, letakkan sumber arus dan tegangan pada posisi nol.
3. Untuk electron gun. Hubungkan filamen electron gun dengan power supply bertegangan tetap $V = 6,3$ volt (AC atau DC). Hubungkan elektrode pemercepat pada tegangan DC antara 0 s/d 500 volt, letakkan masing-masing sumber tegangan tersebut pada posisi nol. (Tanya asisten jika anda masih ragu).
4. Setelah selesai menyusun peralatan (seperti gambar 2.2), hidupkan semua sumber tegangan dan arus listrik. Secara perlahan-lahan putarlah sumber tegangan filament, sambil anda mengamati besarnya voltmeter sampai sebesar 6 volt. Anda akan melihat filamen mulai menyala.

Perhatian : Tegangan filamen tidak boleh lebih dari 6,3 Volt



Gambar 2.2: Susunan eksperimen *e/m*

5. Naikkan tegangan elektroda pemercepat sampai pada harga sekitar 100 volt. Anda akan melihat lintasan berkas elektron berwarna kebiru-biruan.

- Naikkan sumber tegangan Helmholtz coil pada harga sekitar 7 volt, naikan sumber arusnya sehingga anda dapat mengamati perubahan pada lintasan berkas elektron. Putar pengatur arus pada panel ke posisi sekitar 3/4 maksimum.

Tahap Pengukuran

- Letakkan posisi sumber arus Helmholtz coil pada harga $I = 1\text{A}$.
- Letakkan posisi sumber tegangan elektroda pemercepat pada $V = 100$ volt. Catat berapa radius lintasan berkas elektron.
- Ulangi pengukuran langkah 8 sebanyak 5 kali harga tegangan ΔV yang berbeda-beda. lakukan langkah 8 dan 9 sebanyak 3 kali pengulangan.
- Letakkan posisi sumber tegangan elektroda pemercepat pada $V = 100$ volt sementara arus Helmholtz coil pada harga 1 A, catat berapa radius lintasa berkas elektron.
- Ulangi pengukuran langkah 10 untuk harga arus I yang berbeda-beda sebanyak 5 kali, dan lakukan pengulangan terhadap data yang dihasilkan pada langkah 10 sebanyak 3 kali.

Contoh Data Pengamatan

Pengukuran ke	Arus Helmholtz coil $I(\dots)$	Tegangan Elektroda $\Delta V (\dots)$	Radius Lintasan $r(\dots)$
1 sd 5			

VI. Tugas Laporan

- Berdasarkan data pengamatan, tentukan rasio muatan dan massa elektron (e/m) menggunakan persamaan 2.7 !
- Pada akhir pengukuran anda akan mendapatkan 2 set data $V-I$ yang berbeda, yaitu set data untuk nilai V yang tetap sementara I berubah, dan data untuk I tetap dengan V berubah-ubah. Untuk setiap set data, buatlah
 - grafik hubungan antara radius berkas elektron (r) terhadap beda tegangan elektroda pemercepat (ΔV)
 - grafik hubungan antara radius berkas elektron (r) terhadap arus koil Helmholtz (I)
 bahas bagaimana perubahan radius berkas elektron (r) terhadap beda tegangan elektroda pemercepat (ΔV) dan arus koil Helmholtz (I)!

3. Aturlah skala grafik pada poin 1.a, dengan menggunakan analisa regresi untuk mendapatkan persamaan linear. Tentukan rasio muatan dan massa elektron (e/m) berdasarkan persamaan linier tersebut beserta ketidakpastiannya !
4. Bandingkan hasil perhitungan poin 1 dan poin 3, hitung juga diskrepansinya! Diskusikan hasil pengukuran tersebut dan buat kesimpulan pengukuran anda !

III EFEK FOTOLISTRIK (h/e)

I. Tujuan Eksperimen

1. Menentukan fungsi kerja (*work function*) suatu fotodioda,
2. Menentukan nilai tetapan Planck (h) dan energi kinetik maksimum fotoelektron.

II. Peralatan yang digunakan

1. Sumber cahaya merkuri (Mercury Light Source)

Berfungsi sebagai sumber foton / elektromagnetik dengan beberapa panjang gelombang. Ketika dihubungkan dengan sumber tegangan, lampu merkuri akan menyala. Dengan menggunakan gabungan lensa dan grating, cahaya lampu merkuri akan terpisah menjadi lima garis warna yang terang (Tabel 3.1).

Tabel 3.1: Garis spektrum lampu merkuri

Warna	Frekuensi (Hz)	Panjang Gelombang (nm)
Kuning	$5,18672 \times 10^{14}$	578,000
Hijau	$5,48996 \times 10^{14}$	546,074
Biru	$6,87858 \times 10^{14}$	435,835
Ungu	$7,40858 \times 10^{14}$	404,656
Ultraungu	$8,20264 \times 10^{14}$	365,483

2. h/e apparatus

Terdiri dari sel fotodioda yang peka terhadap cahaya. Ketika sel ini disinari maka akan muncul fotoelektron di permukaan fotodioda tersebut. Di dalamnya diberi catu daya dua baterai 9 volt. Untuk mengetahui berapa tegangan yang muncul akibat penyinaran, digunakan voltmeter digital yang dipasang pada output h/e apparatus. Peralatan ini dilengkapi dengan tombol reset (push to zero) untuk membuang muatan yang terakumulasi dalam sel fotodioda. Setiap kali akan mengukur maka tombol harus ditekan. Unit h/e harus diletakkan tepat di depan sumber lampu merkuri. Dengan menggeser gabungan lensa / grating ke depan / belakang untuk memfokuskan cahaya pada layar putih. Dengan mengendorkan skrup, putar unit h/e agar bayangan cahaya tepat pada jendela fotodioda, lalu skrup dikencangkan lagi. Atur fokus sekali lagi agar cahaya tepat di tengah jendela fotodioda. Setelah itu tutuplah sel fotodioda dengan meletakkan silinder hitam pada posisinya.

3. h/e accessory kit
4. Lensa / Grating Blazed 500 nm
5. Light block
6. Diffraction sets
7. Relative transmission
8. Voltmeter digital
9. Yellow Filter
10. Green Filter

III. Teori

Pada tahun 1901 Planck telah mempublikasikan hasil penemuannya tentang hukum radiasi cahaya (elektromagnetik). Dia menyatakan bahwa sebuah osilator, atau setiap sistem, akan mempunyai energi yang bersifat diskrit atau bertingkat. Disamping itu, sifat emisi dan absorpsi sebuah radiasi elektromagnetik selalu berkaitan dengan adanya peristiwa transisi antara dua tingkat energi. Energi yang hilang atau yang didapatkan oleh sebuah osilator akan dipancarkan atau diabsorpsi dalam bentuk energi kuantum.

Besar energi kuantum dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E_f = h\nu \quad (3.1)$$

dimana E_f energi yang dipancarkan, ν adalah frekuensi gelombang elektromagnetik dan h adalah tetapan Planck.

Untuk melepaskan elektron dari suatu logam diperlukan sejumlah energi minimal yang besarnya tergantung pada jenis / sifat logam tersebut. Energi minimal ini disebut work function atau fungsi kerja dari logam, dan dilambangkan dengan ϕ_0 . Energi tersebut diperlukan untuk melepaskan elektron yang terikat pada logam.

Bila suatu gelombang elektromagnetik dengan frekuensi ν dikenakan pada permukaan suatu logam dengan fungsi kerja ϕ_0 , dimana $h\nu > \phi_0$, maka elektron pada permukaan logam tersebut akan terlepas keluar. Bila energi gelombang elektromagnetik tersebut tepat sama dengan fungsi kerja logam (ϕ_0) maka frekuensi elektromagnetiknya dinamakan frekuensi ambang, dan besarnya:

$$\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} \quad (3.2)$$

Dikatakan bahwa ketika frekuensi gelombang elektromagnetik lebih kecil dari frekuensi ambang logam (ν_0) maka tidak akan terjadi pelepasan elektron, sebaliknya akan terjadi pelepasan elektron jika frekuensinya lebih besar dari ν_0 . Gejala terlepasnya elektron dari permukaan logam disebabkan oleh tumbukan gelombang elektromagnetik ini dinamakan *efek / gejala fotolistrik*.

Jika suatu gelombang elektromagnetik menumbuk permukaan logam maka sebagian energinya akan digunakan untuk melepaskan elektron dan sebagian lagi untuk menambah energi kinetik elektron. Besar energi kinetik dari proses fotolistrik ini adalah:

$$\Delta E_k = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0) \quad (3.3)$$

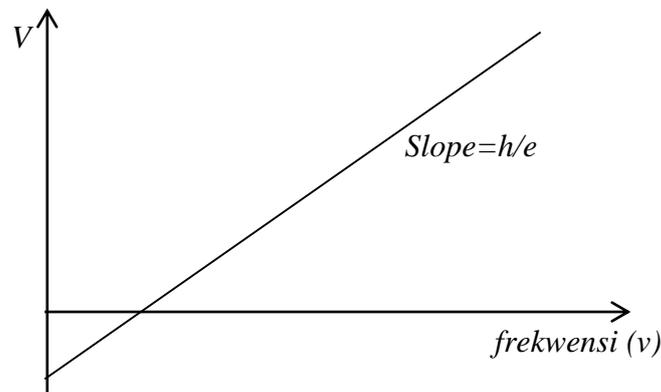
Gejala fotolistrik akan teramati dengan munculnya arus fotoelektron. Besar arus fotoelektron ini dapat diukur sebagai nilai beda potensial antara katoda dan anoda.

Jika dua elektroda tersebut diberi beda potensial dari luar, maka dengan mengatur beda potensial ini akan diperoleh keadaan dimana arus fotoelektron akan terhenti. Yaitu ketika energi kinetik elektron sama dengan energi potensial oleh dua elektroda tersebut ($\Delta E_k = e\Delta V$).

Sehingga diperoleh persamaan :

$$\Delta V = \frac{h}{e}\nu - \frac{\phi_0}{e} \quad (3.4)$$

Beda potensial ΔV ini dinamakan potensial penghenti (*stopping potential*).



Gambar 3.1: Grafik antara V dengan ν

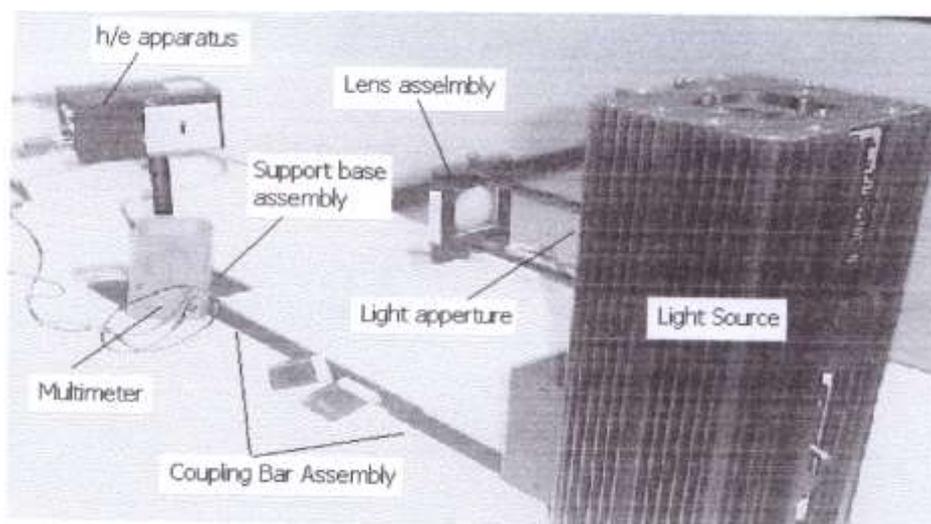
IV. Tugas Pendahuluan

1. Apa yang anda lakukan dan dengan menggunakan alat apa agar anda dapat merubah sumber cahaya polikromatik menjadi monokromatik? Beri penjelasan dan disertai dengan diagramnya.

2. Apa yang anda ketahui tentang grating pantulan? Apa yang dimaksud dengan Blazed angle pada grating.
3. Gambarkan susunan tingkat-tingkat energi elektron pada atom merkuri? Hitung berapa energi yang mungkin dapat dipancarkan oleh atom merkuri?

V. Tata Laksana Eksperimen

1. Susunlah peralatan seperti gambar 3.2
 - a. Peralatan h/e dan sumber cahaya merkuri dalam keadaan OFF.
 - b. Light block di bagian belakang sumber cahaya merkuri,
 - c. Letakkan h/e accessory kit di depan sumber cahaya,
 - d. Letakkan lensa/ grating pada penyangga h/e accessory kit,
 - e. Pasang voltmeter digital pada h/e apparatus,



Gambar 3.2: Susunan eksperimen efek fotolistrik

2. Hidupkan sumber cahaya merkuri, tunggu kira-kira 5 menit sehingga muncul cahaya,
3. Amati bahwa sumber cahaya merkuri memancarkan lima spektrum. Anda dapat mengamati spektrum-spektrum orde satu, orde dua, dan orde tiga dengan meletakkan kertas putih di depan grating. Perhatikan : Pada bagian depan h/e apparatus terdapat layar putih yang terbuat dari bahan fluorescence khusus. Bahan ini akan berpendar ketika terkena sinar ultraviolet dan akan nampak berwarna biru. Ketika anda mengarahkan spektrum ultra violet yang terdifraksi oleh kisi maka akan nampak garis yang makin biru.
4. Hidupkan h/e apparatus. Atur posisi h/e apparatus sehingga salah satu spektrum cahaya sumber mengenai bagian tengah jendela fotodioda. Jendela fotodioda dapat dilihat dengan

memutar silinder hitam unit h/e ke luar. Pilih spektrum yang paling terang. Tutup kembali jendela fotodioda.

5. Tekan tombol “push to zero” / “discharge” pada panel h/e apparatus untuk membuang muatan akumulasi pada fotodioda. Ini akan menyakinkan anda bahwa apa yang anda ukur merupakan harga potensial penghenti yang sesungguhnya.

Bagian I

6. Aturlah posisi h/e apparatus sehingga salah satu spektrum cahaya sumber masuk ke dalam fotodioda,
7. Gunakanlah filter warna kuning untuk spektrum kuning.
8. Letakkan filter yang anda pilih tepat di depan reflektif h/e apparatus dengan menempelkan pada komponen holder.
9. Letakkan dan posisikan relative transmission di depan reflektif h/e apparatus (atau di depan filter jika anda menggunakan filter). Pilih angka 100% intensitas spektrum ditransmisikan menuju fotodioda. Tekan tombol “discharge” lalu lepaskan.
10. Catatlah berapa tegangan yang terbaca pada voltmeter.
11. Geserlah relative transmission pada harga yang lebih rendah; 80%, 60%, 40% dan 20%.
12. Ulangi langkah No. 10 dan 11 untuk warna-warna yang lain.

Contoh Data Pengamatan

Warna	Filter Transmisi (%)	Potensial Penghenti (Volt)
Semua warna Orde satu	100 s/d 20	

Bagian II

13. Selanjutnya, lakukanlah langkah berikut. Aturlah posisi h/e apparatus sehingga spektrum warna kuning pada orde satu tepat mengenai jendela fotodioda. Letakkan filter warna kuning di depan h/e apparatus. Tekan tombol push zero, lalu lepaskan.
14. Catat tegangan output (potensial penghenti).
15. Ulangi langkah No.13 dan 14 untuk setiap warna spektrum yang ada. Jangan lupa gunakanlah filter warna hijau ketika anda mulai mengukur spektrum cahaya hijau. Lakukan pengukuran secara berurutan dari gelombang panjang ke gelombang pendek (kuning ke ultraviolet).

Note :

Hanya tersedia filter warna kuning dan hijau yang digunakan hanya untuk mengamati spektrum warna kuning dan hijau. **Spectrum yang lainnya diamati tanpa filter.**

Contoh Data Pengamatan

Warna	Panjang Gelombang ($\lambda, 10^{-10} m$)	Frekuensi ($\nu, \times 10^{14} Hz$)	Potensial Penghenti (Volt)
Orde Satu			
Semua Warna			
Orde Dua			
Semua Warna			

VI. Tugas Laporan Resmi**Bagian I**

1. Bagaimana pengaruh filter transmisi terhadap potensial penghenti ?
2. Bagaimana pengaruh warna terhadap potensial penghenti?

Bagian II

1. Buatlah grafik antara tegangan output dengan frekuensi spektrum sumber!
2. Hitung *slope*/kemiringan kurva dan titik perpotongan dengan sumbu y!
3. Nyatakan hasil anda untuk menentukan h/e dan ϕ_0/e . Hitung berapa harga h dan ϕ_0 untuk sel fotodiode beserta ralatnya !
4. Tentukan nilai tetapan Planck (h), hitung diskrepansinya!

IV

SPEKTRUM KISI



I. Tujuan Eksperimen

Menentukan jarak antar kisi (d) dengan menggunakan spektrometer kisi.

II. Peralatan yang digunakan

1. Spektrometer
2. Holografic grating
3. Tabung sumber cahaya

Tabel 4.1 spectrum of mercury

Color	Wavelength [nm]
Violet	435.8
green	546.1
Yellow-1	577.0
yellow-2	579.1

4. Power supply tube

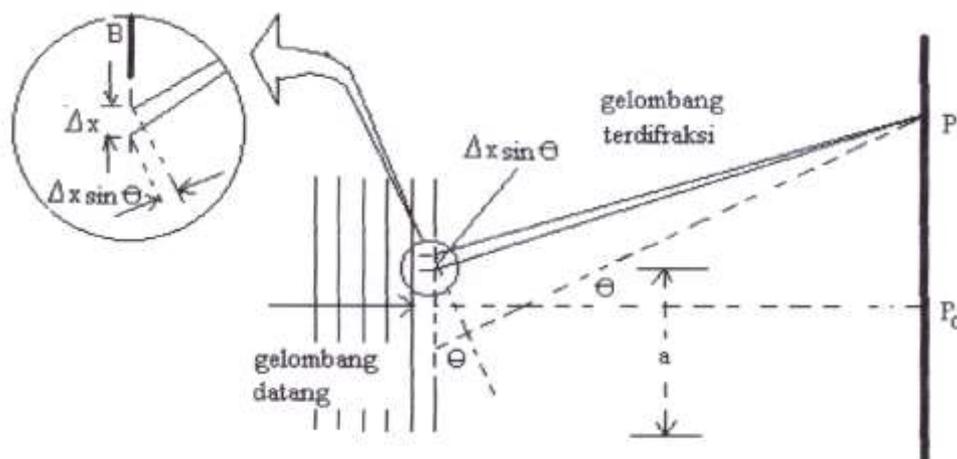
III. Teori

Difraksi adalah gejala penyebaran arah yang dialami oleh seberkas gelombang cahaya ketika melalui suatu celah sempit dibandingkan dengan ukuran panjang gelombangnya. Sesuai dengan prinsip Huygens, ketika suatu gelombang datang melewati sebuah celah maka seluruh titik pada celah tersebut akan berfungsi sebagai sumber gelombang sekunder yang akan memancarkan gelombang cahaya baru. Untuk menjelaskan terjadinya gejala difraksi ini diperhatikan gambar 4.1.

Ketika sebuah gelombang cahaya melewati sebuah celah sempit dengan lebar a maka pada layar sejauh L dari celah dihasilkan pola difraksi celah tunggal dengan pusat-pusat intensitas maksimal dan minimal secara berturutan. Pada arah sudut θ Terhadap arah sinar datang kita akan mendapatkan titik-titik yang mempunyai intensitas sama dengan nol (minimal). Pada titik-titik tersebut berlaku hubungan:

$$\begin{aligned} a \sin \theta &= n\lambda, \\ n &= 1, 2, 3, \text{ dst} \quad (\text{minimal}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

dimana a adalah lebar celah dan λ adalah panjang gelombang cahaya.



Gambar 4.1: Gejala difraksi cahaya melalui celah sempit

Secara umum besar intensitas cahaya pada layar dapat ditentukan dengan persamaan yang diturunkan dari prinsip Huygens:

$$I_{\theta} = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (4.2)$$

dimana $\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$

Jika gelombang cahaya tersebut melewati dua celah sempit yang lebarnya sama dengan a sedangkan jarak antara pusat celah tersebut adalah d , maka pola intensitas difraksi pada layar pada sudut θ ditentukan oleh persamaan:

$$I_{\theta} = I_m (\cos \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (4.3)$$

dengan

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

dan α seperti pada difraksi celah tunggal.

Pola difraksi yang terjadi jika gelombang melewati sejumlah N celah yang identik dengan jarak konstan d maka akan diperoleh titik-titik intensitas maksima yang memenuhi persamaan:

$$d \sin \theta = n \lambda, \quad (4.4)$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

dengan lebar pita angular pada intensitas maksima sebesar:

$$\Delta \theta_m = \frac{\lambda}{N d \cos \theta_m} \quad (4.5)$$

Jika N celah tersebut terbuat dari kisi (grating) dengan jumlah celah sangat banyak, maka cahaya yang datang akan dipisahkan menjadi beberapa komponen spektrum yang berbeda panjang gelombangnya. Masing-masing panjang gelombang mempunyai titik maksima yang ditentukan oleh persamaan:

$$d \sin \theta_1 = n \lambda_1, \quad (4.6)$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

dimana θ_1 adalah sudut difraksi untuk spektrum dengan panjang gelombang λ_1 . Dengan cara yang sama akan diperoleh titik-titik maksima untuk spektrum panjang gelombang yang lain dengan sudut difraksi yang berbeda.

Karakteristik sebuah grating ditentukan oleh dua parameter yaitu penyebaran (dispersion) D dan daya pisah (resolving power) R :

$$D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{d \cos \theta} \quad (4.6)$$

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = N n \quad (4.7)$$

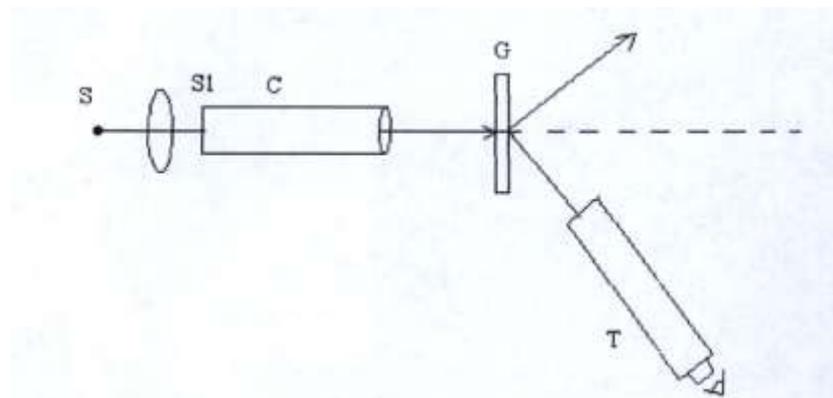
dengan $N =$ jumlah garis pada kisi

IV. Tugas Pendahuluan:

1. Sebutkan perbedaan antara interferensi dan difraksi? Jelaskan dengan diagram.
2. Apakah yang dimaksud dengan difraksi Fresnel dan Fraunhofer. Sebutkan syarat terjadinya difraksi Fresnel dan syarat terjadinya difraksi Fraunhofer tersebut?
3. Dengan menggunakan syarat difraksi Fraunhofer, gambarkan proses terjadinya difraksi yang diakibatkan oleh dua buah celah. Tentukan syarat terjadinya maksima dan turunkan rumusan terjadinya maksima tersebut dalam bentuk hubungan antara jarak celah (b) dan sudut difraksinya (θ)?

V. Tata Laksana Eksperimen

1. Susunlah peralatan seperti pada diagram berikut:



Gambar 4.2: Susunan peralatan spektrometer

keterangan:

S: sumber cahaya

S₁: celah

C: kolimator

G: kisi difraksi

θ : sudut difraksi

T: teropong

2. Pasang tabung sumber cahaya pada power supply tube,
3. Letakkan sumber cahaya tersebut tepat di depan celah spektrometer, buka celah spektrometer antara 1-2 mm, lalu hidupkan sumber cahaya. Perhatikan: Tabung sumber cahaya akan cepat rusak jika digunakan secara terus menerus. Oleh karena itu gunakanlah tabung sumber cahaya tersebut secara teratur dengan menghidupkan tidak lebih dari 30 detik, lalu dimatikan (kira-kira 30 detik) lalu dihidupkan lagi, dst, secara periodik.

On \leq 30detik(maksimal)

Off = 30detik(minimal)

sudut datang ($i = 0^\circ$)

4. Letakkan kisi difraksi pada meja spektrometer sehingga arah cahaya datang tegak lurus terhadap kisi difraksi,
5. Letakkan teropong pada arah datangnya sumber cahaya, amati bahwa garis penunjuk pada mikroskop teropong tepat ditengah bayangan sumber cahaya. Catat posisi teropong dengan membaca pada skala sudut spektrometer.
6. Amati bahwa sumber cahaya akan didifraksi oleh kisi ke dalam komponen spektrum cahaya pada orde satu, orde dua, orde tiga dst. Di sisi kiri dan sisi kanan kisi difraksi.
7. Dengan memindahkan posisi sudut teropong, ukurlah posisi sudut masing-masing spektrum cahaya untuk orde satu dan orde dua. Catat posisi masing-masing spektrum cahaya tersebut.
8. Lakukan langkah yang sama (No.7) untuk spectrum cahaya pada sisi kiri.

Contoh Data PengamatanSudut datang $i = 0^\circ$

Posisi nol teropong = derajat

Pengukuran		Posisi sudut θ (derajat)	
Orde	Spektrum	θ_r (Kanan)	θ_l (Kiri)

Sudut datang ($i = 10^\circ$)

- Pada pengukuran ini, geserlah posisi kisi difraksi sehingga arah cahaya datang pada sudut 10° terhadap arah normal kisi,
- Letakkan teropong pada arah sumber cahaya (seperti langkah No.5). Catat posisi sudut teropong.
- Lakukan Eksperimen seperti langkah No. 6, 7, dan 8

Contoh Data PengamatanSudut datang $i = 0^\circ$

Posisi nol teropong = derajat

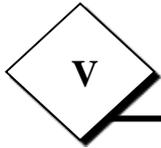
Pengukuran		Posisi sudut θ (derajat)	
Orde	Spektrum	θ_r (Kanan)	θ_l (Kiri)

VI. Tugas Laporan Resmi

- Turunkan rumus difraksi untuk sudut datang $i \neq 0$?
- Hitung besarnya sudut difraksi θ untuk setiap orde pengukuran.

$$\theta_n = \frac{\theta_r + \theta_l}{2}$$

- Bagaimana pengaruh panjang gelombang terhadap θ
- Buatlah grafik antara θ dengan panjang gelombang spektrum cahaya orde satu.
- Hitung harga jarak antar kisi (d) dan ralatnya (Δd)? Diskusikan hasil eksperimen anda?



DIFRAKSI FRAUNHOFER DENGAN LASER HeNe

I. Tujuan

1. Menentukan pola difraksi Fraunhofer pada celah tunggal dengan variasi lebar celah,
2. Menentukan pola difraksi Fraunhofer pada celah ganda dengan variasi jarak antar celah dan variasi lebar celah,
3. Menentukan pola difraksi Fraunhofer pada celah banyak.

II. Alat-Alat Praktikum

1. Sumber laser He-Ne ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$)
2. Bangku laser
3. Celah tunggal berbagai ukuran
4. Celah ganda berbagai ukuran
5. Celah tiga, empat dan lima berbagai ukuran
6. Mistar ukur

III. Teori Singkat

3.1 Laser

Laser pada dasarnya merupakan sebuah osilator optik. Kata laser diperoleh dari singkatan “light amplification by stimulated emission of radiation”, yaitu sebuah berkas cahaya bersifat monokromatik dan koheren yang diperoleh dari adanya emisi radiasi yang terstimulasi.

Laser dibentuk dari sebuah medium penguat yang diletakkan di dalam resonator atau kaviti optik yang sesuai. Medium tersebut dibuat untuk menguatkan intensitas cahaya dengan jalan memberikan eksitasi dari luar. Osilasi laser berupa sebuah gelombang berdiri dalam resonator. Keluaran laser terdiri atas sebuah berkas radiasi yang sangat intensif, koheren dan monokromatik.

Jika dibandingkan dengan laser, sumber cahaya konvensional (misalnya lampu, filament atau lucutan gas) memancarkan cahaya disebabkan oleh adanya radiasi termal pada temperature tidak lebih dari 10^4 K . Laser mampu memancarkan cahaya dengan intensitas yang sebanding dengan temperature 10^{20} sampai 10^{30} derajat Kelvin. Intensitas yang sangat tinggi ini membuka kemungkinan beberapa riset dalam bidang-bidang optic seperti gejala non-linear, interferensi jarak jauh, atau beberapa riset lain yang sebelumnya tidak masuk dalam daftar

pertanyaan. Laser juga telah banyak digunakan dalam aplikasi nyata seperti bidang komunikasi, radar optic, mikrowelding, compact disc (CD) player dan operasi mata.

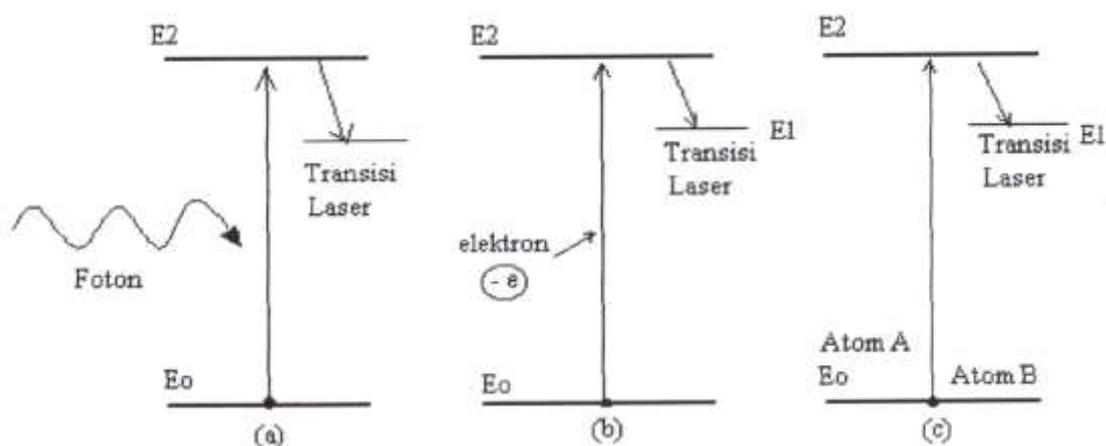
Einstein adalah yang pertama kali mengenalkan konsep radiasi emisi terstimulasi dalam sistem atom. Dia menunjukkan bahwa untuk menjelaskan interaksi lengkap antara bahan dan radiasi, perlu adanya sebuah proses dimana eksitasi atom disebabkan oleh adanya proses radiasi, kemudian memancarkan foton dan electron akan meluruh ke energi yang lebih rendah.

Sebuah atom pada tingkat energi 2 dapat meluruh ke tingkat energi 1 disertai emisi foton. Terjadinya emisi ini disebabkan karena populasi electron pada tingkat energi 2 lebih tinggi dari tingkat energi 1, keadaan ini dinamakan populasi terbalik. Akibat adanya populasi terbalik ini, electron mempunyai probabilitas lebih besar untuk meluruh ke tingkat energi 1.

Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan populasi terbalik ini. Metode yang paling umum digunakan adalah: eksitasi foton; eksitasi electron; dan tumbukan non-elastik atom-atom.

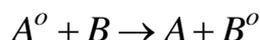
Pemompaan optik terjadi ketika sebuah sumber cahaya luar digunakan untuk menghasilkan populasi tinggi pada tingkat energi tertentu dengan jalan absorpsi optik terseleksi, seperti gambar 1a. Metode ini biasa digunakan dalam laser zat padat seperti ruby Laser.

Eksitasi electron dalam gas biasa digunakan untuk menghasilkan populasi terbalik yang diinginkan, seperti gambar 1b. Metode ini digunakan pada beberapa laser gas seperti laser argon atau kripton. Pada jenis eksitasi ini, medium laser membawa arus pelucutan. Pada tekanan dan arus yang sesuai, electron pada arus pelucutan secara langsung mengeksitasi atom-atom aktif untuk menghasilkan populasi yang lebih tinggi pada tingkat energi tertentu dibandingkan dengan tingkat energi yang lebih rendah. Akibatnya terjadilah emisi foton terstimulasi.



Gambar 5.1: Diagram proses terjadinya laser

Pada metode yang ketiga, juga digunakan pelucutan electron. Di sini, digunakan sistem kombinasi gas yang sesuai misalnya dua tipe atom A dan B yang berbeda. Masing-masing mempunyai keadaan tereksitasi A^* dan B^* yang tingkat energinya berimpit atau hampir berimpit, seperti gambar 1c. Dalam keadaan ini eksitasi lintas antara dua atom tersebut mungkin akan terjadi dalam bentuk:



Jika keadaan tereksitasi, salah satu atom misalnya A^* dalam keadaan metastabil, maka gas B akan berfungsi sebagai keluaran pada saat proses eksitasi. Akibatnya, akan terdapat kemungkinan tingkat energi eksitasi E_{B^o} mempunyai populasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat energi dibawahnya, dimana atom B^* dapat meluruh disertai radiasi foton. Contoh laser metode ini adalah laser He-Ne.

3.2 Difraksi Fraunhofer Celah Tunggal

Gejala gelombang yang paling populer adalah interferensi dan difraksi. Kedua proses tersebut secara fisis sama, perbedaannya hanya terletak pada skala terjadinya proses tersebut. Interferensi terjadi ketika berkas cahaya dari dua sumber saling superposisi, seperti pada celah ganda Young. Difraksi terjadi ketika ukuran celah dipersempit sampai pada ukuran panjang gelombang cahaya sumber.

Sekarang misalkan celah tersebut dibagi menjadi N buah elemen sumber identik yang jarak masing-masing f . Jarak antara sumber pertama dan sumber terakhir adalah Nf yang panjangnya sama dengan d dimana d merupakan lebar celah. Lebar celah d adalah pada order panjang gelombang cahaya, $d \sim \lambda$. Masing-masing sumber pada celah tersebut dapat dipandang sebagai sumber gelombang sekunder sesuai dengan prinsip Huygen.

Ketika gelombang dari N sumber tersebut difokuskan pada layar, maka distribusi intensitasnya dapat dinyatakan dalam fungsi lebar celah d , panjang gelombang λ dan sudut difraksi θ . Intensitasnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$I = I_s \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} \quad (5.1)$$

dimana

$$N \cdot \beta = N \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot f \cdot \sin \theta \right)$$

merupakan $\frac{1}{2}$ kali perbedaan fase antara sumber elemen pertama dan elemen terakhir. Tetapi, $N \cdot f = d$ adalah lebar celah tunggal.

Jika $N\beta$ diganti dengan α maka

$$\alpha = (\pi/\lambda)d \sin \theta \quad (5.2)$$

merupakan $1/2$ kali perbedaan fase antara tepi-tepi sumber elemen dalam celah.

Sehingga intensitasnya menjadi

$$I = I_s \frac{\sin^2[(\pi/\lambda)d \sin \theta]}{\sin^2[(\pi/\lambda N)d \sin \theta]} = I_s \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2(\alpha/N)} \quad (5.3)$$

jika N bilangan yang besar maka $\sin^2 \frac{\alpha}{N} \rightarrow \left(\frac{\alpha}{N}\right)^2$

dan distribusi intensitas difraksinya adalah

$$I = N^2 I_s \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} = I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \quad (5.4)$$

dengan

$$\alpha = (\pi/\lambda)d \sin \theta$$

Pada saat $\alpha = \theta = 0$ maka $I = I_0$ karena $\sin \alpha / \alpha \rightarrow 1$ ketika $\alpha \rightarrow 0$, titik ini disebut maksimum utama. Titik minimum terjadi ketika Intensitas $I = 0$ yaitu ketika

$$\sin \alpha = 0$$

yaitu ketika

$$\begin{aligned} \alpha &= n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots \text{atau} \\ d \sin \theta &= n\lambda \quad \text{dimana } n = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (5.5)$$

n adalah order difraksi.

Selain itu dapat diturunkan titik-titik dimana terjadi maksimum sekunder, seperti pada tugas no.1.

3.3 Celah Ganda dan Celah Banyak

Untuk menurunkan intensitas difraksi celah banyak, kita akan memulai dengan N buah sumber identik yang jaraknya f dengan intensitas masing-masing sumber sebesar

$$I_s = I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \quad (5.6)$$

kita kembali menggunakan I_s dalam bentuk pola distribusi intensitas interferensi N sumber yaitu:

$$I = I_s \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} \quad (5.7)$$

dimana

$$\beta = (\pi / \lambda) f \sin \theta$$

sehingga intensitas difraksi untuk N celah adalah:

$$I = I_0 \frac{\sin^2 \alpha \sin^2 N\beta}{\alpha^2 \sin^2 \beta} \quad (5.8)$$

dimana $\alpha = (\pi / \lambda) d \sin \theta$

Bentuk intensitas difraksi ini merupakan kombinasi bagian difraksi $\sin^2 \alpha / \alpha^2$ oleh masing-masing celah dan bagian interferensi $\sin^2 N\beta / \sin^2 \beta$ oleh N sumber celah. Pola difraksi untuk sejumlah celah akan mempunyai sebuah envelop $\sin^2 \alpha / \alpha^2$ (difraksi celah tunggal) yang memodifikasi intensitas pola interferensi celah banyak $\sin^2 N\beta / \sin^2 \beta$.

Untuk celah ganda (N sama dengan 2) factor

$$\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} = 4 \cos^2 \beta \quad (5.9)$$

dan distribusi intensitasnya adalah

$$I = 4I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cos^2 \beta \quad (5.10)$$

Untuk mendapatkan titik-titik maksimum kita mengambil

$$\beta = m\pi \quad \text{dimana } m = 0, 1, 2, \dots$$

dari $\beta = (\pi / \lambda) f \sin \theta$ akan diperoleh:

$$f \sin \theta = m\lambda \quad \text{dimana } m = 0, 1, 2, \dots \quad (5.11)$$

m adalah orde difraksi

IV. Tugas Pendahuluan

1. Apakah yang dimaksud dengan difraksi? Apakah perbedaan antara gejala difraksi dan interferensi?
2. Dua sumber cahaya identik dengan panjang gelombang λ , terpisah sejauh f. Turunkan pola intensitasnya sebagai fungsi sudut difraksi pada layar yang berjarak L tegak lurus terhadap bidang sumber!
3. Pola difraksi celah tunggal dinyatakan dengan persamaan (6.6). Tunjukkan bahwa titik-titik maksimum sekunder diperoleh ketika dipenuhi persamaan:

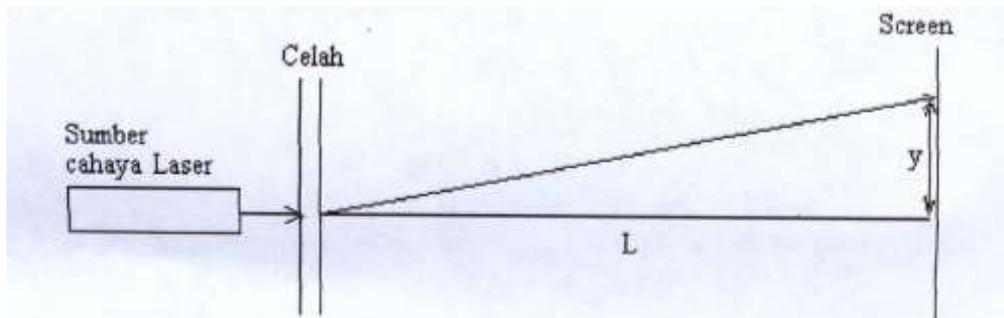
$$\tan \alpha = \alpha, \quad \text{dimana } \alpha = (\pi / \lambda) d \sin \theta$$

Nyatakan besarnya sudut θ untuk empat titik maksimum sekunder pertama.

V. Tatalaksana Eksperimen

5.1 Celah Tunggal

1. Susunlah peralatan seperti pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Susunan eksperimen

2. Posisikan sumber laser He-Ne pada ujung bangku optic, letakkan celah tunggal pada holder dan posisikan sekitar 10 cm didepan laser. Pada layar, anda akan mengamati pola difraksi ketika berkas laser melewati salah satu celah yang ada.
3. Atur jarak L cukup jauh (misalnya 2 meter) sehingga simpangan y dapat diukur. Gambarkan pola difraksi yang terjadi! Ada berapa titik minimum pada pola difraksi tersebut. Jelaskan? Ukur berapa lebar maksimum pusat!
4. Ukur simpangan y untuk titik-titik maksimum dan titik-titik minimum. Berilah label orde pada tiap-tiap titik tersebut.
5. Ukurlah setengah lebar maksimum pusat sebagai y_0 , kemudian tentukan θ_0 dengan persamaan $\theta_0 = \tan^{-1}(y_0/L)$
6. Pindahkan celah sehingga berkas laser melewati celah kedua.
7. Lakukan langkah 3, 4 dan 5.
8. Ukur simpangan y untuk titik-titik maksimum dan titik-titik minimum. Berilah label orde pada tiap-tiap titik tersebut.

Jarak celah ke layar L:

Jarak sumber cahaya ke celah :

Celah	d (m)	Orde	Y mak (m)	Y min (m)	θ
A		m1			
		m2			
		m3			
		m4			
B		m1			
		m2			
		m3			
		m4			
C	dst	Dst	dst	dst	dst

5.2 Celah Ganda

1. Seperti gambar 5.2, letakkan celah ganda untuk menggantikan posisi celah tunggal.
2. Lakukan eksperimen mengikuti langkah 2, 3, dan 4.

Jarak celah ke layar L :

Jarak sumber cahaya ke celah :

Celah	d (m)	f(m)	Orde	Y mak (m)	Y min (m)	θ
A			m1			
			m2			
			m3			
			m4			
B			m1			
			m2			
			m3			
			m4			
C	dst		dst	dst	dst	

5.3 Celah Banyak

1. Seperti gambar 5.2, letakkan celah banyak untuk menggantikan posisi celah ganda.
2. Lakukan eksperimen mengikuti langkah 2, 3, dan 4.

Jarak celah ke layar L :

Jarak sumber cahaya ke celah :

Celah	d (m)	f(m)	n	Orde	Y mak (m)	Y min (m)	θ
A				m1			
				m2			
				m3			
				m4			
B				m1			
				m2			
				m3			
				m4			
C	dst			dst	dst	dst	

VI. Pertanyaan Laporan Akhir

1. Buatlah grafik intensitas sebagai fungsi sudut θ untuk setiap eksperimen celah tunggal anda, pada satu grafik!
2. Buatlah grafik intensitas sebagai fungsi sudut θ untuk setiap eksperimen celah ganda anda, pada satu grafik!
3. Buatlah grafik intensitas sebagai fungsi sudut θ untuk setiap eksperimen celah banyak anda, pada satu grafik!
4. Bagaimana pengaruh perubahan lebar celah terhadap pola difraksi celah tunggal?
5. Bagaimana pengaruh perubahan lebar celah terhadap pola difraksi celah ganda?
6. Bagaimana pengaruh perubahan jarak antar celah terhadap pola difraksi celah ganda?
7. Bagaimana pola intensitas pola difraksi celah banyak (celah 2, celah 3, celah 4, celah 5)



RADIASI TERMAL (KUBUS LESLIE)

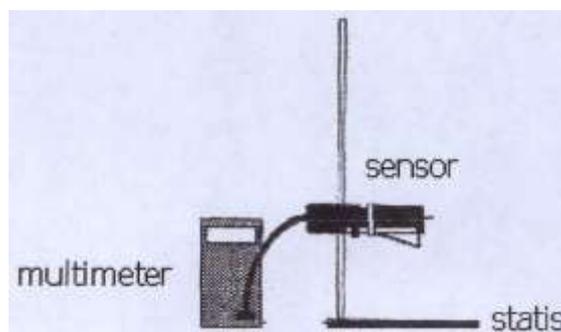
I. Tujuan Eksperimen

Mengamati dan mengukur radiasi termal yang dipancarkan oleh sumber termal.

II. Peralatan yang digunakan

1. Sensor Radiasi (Pasco TD8553)

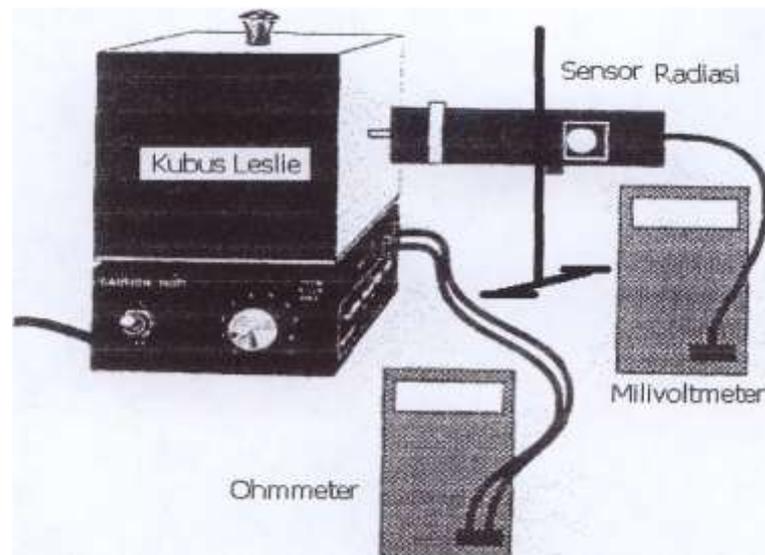
Untuk mengukur radiasi termal yang dipancarkan oleh suatu sumber panas. Keluaran sensor berupa output tegangan dalam milivolt yang bisa terbaca melalui multimeter. Jika tidak sedang digunakan untuk mengambil data sebaiknya mata sensor ditutup dari radiasi luar agar tidak terganggu oleh temperatur yang tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi akurasi hasil ukur. Daya maksimum yang dapat diterima adalah $0,1 \text{ W/cm}^2$ dengan sinyal tegangan keluaran linier untuk $10^{-6} \text{ s/d } 0,1 \text{ W/cm}^2$ tersebut. Respon spektrum antara $0,6 \text{ s/d } 30 \text{ }\mu\text{m}$.



Gambar 6.1 Sensor Radiasi.

2. Kubus Leslie (Pasco TD 8554A)

Mempunyai empat sisi permukaan yang berbeda yaitu hitam, putih, kilap dan kusam, dapat dipanaskan sampai 120°C . Kubus ini dipanaskan dengan lampu pijar 100 W dan daya yang diberikan dapat diatur melalui tombol putar. Temperatur pada sisi kubus diketahui dengan mengukur tahanannya (menggunakan ohmmeter) yang kemudian dikonversi menjadi temperatur berdasarkan tabel konversi tahanan-temperatur seperti pada tabel 6.1



Gambar 6.2. Set up alat kubus Leslie

Tabel 6.1 konversi tahanan-temperatur

Therm. Res. (Ω)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Therm. Res. (Ω)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Therm. Res. (Ω)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Therm. Res. (Ω)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Therm. Res. (Ω)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Therm. Res. (Ω)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)
207,850	10	66,356	34	24,415	58	10,110	82	4,615.1	106	2,281.0	130
197,560	11	63,480	35	23,483	59	9,767.2	83	4,475.0	107	2,218.3	131
187,840	12	60,743	36	22,590	60	9,437.7	84	4,339.7	108	2,157.6	132
178,650	13	58,138	37	21,736	61	9,120.8	85	4,209.1	109	2,098.7	133
169,950	14	55,658	38	20,919	62	8,816.0	86	4,082.9	110	2,041.7	134
161,730	15	53,297	39	20,136	63	8,522.7	87	3,961.1	111	1,986.4	135
153,950	16	51,048	40	19,386	64	8,240.6	88	3,843.4	112	1,932.8	136
146,580	17	48,905	41	18,668	65	7,969.1	89	3,729.7	113	1,880.9	137
139,610	18	46,863	42	17,980	66	7,707.7	90	3,619.8	114	1,830.5	138
133,000	19	44,917	43	17,321	67	7,456.2	91	3,513.6	115	1,781.7	139
126,740	20	43,062	44	16,689	68	7,214.0	92	3,411.0	116	1,734.3	140
120,810	21	41,292	45	16,083	69	6,980.6	93	3,311.8	117	1,688.4	141
115,190	22	39,605	46	15,502	70	6,755.9	94	3,215.8	118	1,643.9	142
109,850	23	37,995	47	14,945	71	6,539.4	95	3,123.0	119	1,600.6	143
104,800	24	36,458	48	14,410	72	6,330.8	96	3,033.3	120	1,558.7	144
100,000	25	34,991	49	13,897	73	6,129.8	97	2,946.5	121	1,518.0	145
95,447	26	33,591	50	13,405	74	5,936.1	98	2,862.5	122	1,478.6	146
91,126	27	32,253	51	12,932	75	5,749.3	99	2,781.3	123	1,440.2	147
87,022	28	30,976	52	12,479	76	5,569.3	100	2,702.7	124	1,403.0	148
83,124	29	29,756	53	12,043	77	5,395.6	101	2,626.6	125	1,366.9	149
79,422	30	28,590	54	11,625	78	5,228.1	102	2,553.0	126	1,331.9	150
75,903	31	27,475	55	11,223	79	5,066.6	103	2,481.7	127		
72,560	32	26,409	56	10,837	80	4,910.7	104	2,412.6	128		
69,380	33	25,390	57	10,467	81	4,760.3	105	2,345.8	129		

3. Statif
4. Multimeter
5. Lempeng kaca, logam dan gabus

III. Teori

Radiasi termal adalah energi yang dipancarkan oleh sebuah benda /permukaan karena temperatur yang dimilikinya. Benda panas akan memancarkan radiasi termal dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Kemampuan benda untuk menyerap atau memancarkan radiasi termal merupakan karakteristik benda itu sendiri. Setiap benda yang mudah menyerap panas maka juga sekaligus mudah memancarkan panas. Berdasarkan hasil eksperimen, besar kecilnya panas yang diserap atau dipancarkan sangat bergantung pada sifat permukaan benda yang bersangkutan. Menurut hukum Stefan-Boltzman, energi radiasi yang dipancarkan oleh permukaan benda

$$E = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (6.1)$$

Dengan ε adalah emisivitas permukaan, merupakan sifat permukaan benda. Nilainya antara $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Benda dengan $\varepsilon = 1$ disebut dengan benda hitam (black body) dan merupakan benda dengan kemampuan menyerap dan memancarkan panas terbaik. Secara umum, untuk kebanyakan benda $\varepsilon < 1$. σ adalah tetapan Stefan-Boltzman yang nilainya $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mm}^2\text{K}^4$. A adalah luas permukaan benda (m^2) dan T adalah temperatur permukaan benda (K). Oleh karena radiasi yang dipancarkan merupakan fungsi suhu dari benda itu sendiri. Dari rumus ini maka semua obyek panas akan memancarkan radiasi elektromagnetik. Spektrum gelombang EM untuk beberapa temperatur benda dapat dilihat pada tabel 6.2 dibawah ini:

Tabel 6.2 Spektrum Gelombang EM

Suhu (K)	Panjang Gelombang λ (cm)	Spektrum
< 0,03	> 10	Radio
0,03 - 30	10 – 0,01	Microwave
30 - 4100	0,01 – 7×10^{-5}	IR
4100 - 7300	7×10^{-5} - 4×10^{-5}	Cahaya Tampak
7300 - 3×10^6	4×10^{-5} - 10^{-7}	UV
3×10^6 - 3×10^8	10^{-7} - 10^{-9}	X-Rays
> 10^8	< 10^{-7}	γ - Rays

IV. Tugas Pendahuluan

1. Turunkan persamaan Stefan-Boltzman $E = \varepsilon \sigma A T^4$!
2. Berikan pengertian perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi !

V. Tata Laksana Eksperimen

A. Emisivitas berbagai jenis permukaan

Catatan penting : sebelum melakukan percobaan perhatikan hal-hal berikut :

- i) Hindari kontak mata sensor dengan radiasi eksternal yang dapat menyebabkan deviasi hasil ukur dari yang sebenarnya. Hal ini dapat dilakukan dengan menutup mata sensor dari radiasi luar.
- ii) Jika tidak diperlukan perubahan, usahakan posisi sensor tetap selama percobaan.

Percobaan :

- a. Rangkailah peralatan seperti gambar 1.
- b. Nyalakan kubus Leslie dan aturlah power ke posisi "High". Amatilah pembacaan hambatan pada ohmmeter. Jika terbaca $40k\Omega$, reset tombol power ke posisi 5.0, tunggu beberapa saat.
- c. saat kubus telah mencapai kesetimbangan termal pada setting 5.0 ini (ditunjukkan dengan pembacaan ohmmeter yang relatif stabil pada suatu nilai), tempatkan sensor radiasi sedemikian hingga mata sensor menyentuh dinding kubus Leslie. Ini menjamin jarak pengukuran sama untuk semua jenis permukaan kubus. Dengan sensor ini maka radiasi dari kubus akan diukur.
- d. Catatlah hasil pengamatan anda pada tabel pengamatan dibawah ini.

Tabel Pengamatan A

A.1

Setting power : 5.0

Hambatan thermistor : Ω

Temperatur dinding : K

No	Permukaan kubus	Output sensor (mV)
1	Hitam	
2	Putih	
3	Kilap	
4	Kusam	

- e. **Ulangi percobaan anda (bisa dimulai dari c dengan memperhatikan kesetimbangan thermal) untuk berbagai seting power 6.0, 7.0, 8.0 dan catat hasilnya pada tabel pengamatan A.2, A.3, dan A.4 (seperti tabel A1)**

Catatan : ~~tiap pengambilan data, tunggu sampai terjadi kesetimbangan termal sekitar 40 K Ω ! Kesetimbangan berbeda untuk seting power yg berbeda~~

B. Serapan dan Transmisi Radiasi Termal

1. Aturlah kubus Leslie pada setting power 5.0 dan biarkan sampai setimbang termal.
2. tempatkan ujung/mata sensor 5 cm di depan dinding hitam kubus dengan muka sensor sejajar dinding dan lakukan pengamatan seperti percobaan A.
3. Sekarang tempatkan lempeng kaca di antara sensor dan kubus, apakah kaca tersebut secara efektif menutup radiasi?
4. Ulangilah untuk berbagai jenis lempeng lainnya.

C. Hukum Stefan-Boltzman (temperatur rendah)

Pada percobaan ini, anda akan memverifikasi hukum Stefan-boltzman (untuk temperatur rendah). Secara fisis, sensor radiasi sebenarnya juga mengalami pemanasan akibat radiasi termal yang diterimanya. Oleh karena itu, output tegangan yang dikeluarkan bisa saja tidak menunjukkan hasil ukur yang sebenarnya. Artinya tegangan terbaca sebanding dengan radiasi yang mengenai sensor dikurangi radiasi yang dipancarkan oleh sensor itu sendiri. Secara matematis

$$E_{netto} = \epsilon \sigma A (T^4 - T_{sensor}^4) \quad (6.2)$$

Oleh karena itu, sejauh kita dapat melindungi sensor dari radiasi selama sensor tidak digunakan untuk mengambil data, maka kita dapat menganggap temperature sensor sama dengan temperatur ruang.

Percobaan :

1. Aturlah peralatan seperti pada gambar 6.1 tetapi dengan sensor ditempatkan antara 3 s/d 4 cm di depan kubus. Mata sensor lurus di depan dinding kubus.
2. Kubus Leslie dalam keadaan tidak dihidupkan. Pada kesetimbangan termal ini, catatlah tahanan termistor R_{tm} dan catatlah hasil ini pada tabel pengamatan!
3. Tutuplah sensor dari radiasi dengan menggunakan lempeng perisai (penutup) dengan sisi yang memantulkan menghadap kubus.
4. Nyalakan kubus dan atur setting power pada 8.0
5. Saat hambatan termistor (ohmmeter) menunjukkan sekitar 12⁰C diatas suhu ruang, putarlah tombol daya ke posisi "Off" sehingga temperatur berubah secara lambat. Catat hambatan R dan radiasi terpancar yang dideteksi dengan sensor (milivolt). Pembacaan pada saat ini dilakukan dengan memindahkan lempeng penutup secara bersamaan dengan pengamatan/pengukuran.

6. Catat hasil pengukuran pada tabel berikut

Tabel pengamatan C

R_{rm} : Ω

T_{rm} : K

Data			Perhitungan		
$R (\Omega)$	$Rad (mV)$	$T_c (C)$	$T_K (K)$	$T_K^4 (K_4)$	$T_K^4 - T_m^4 (K_4)$

Catatan : $K=C+273$

VI. Tugas Laporan

A. Emisivitas berbagai jenis permukaan

1. Nyatakan daya serap setiap permukaan menurut urutan menurun. Apakah urutan ini bergantung pada temperatur benda/permukaan?
2. Untuk ke-4 pengamatan di atas, berikan semacam rangkuman untuk sumber-sumber error yang mungkin mempengaruhi hasil pengamatan !
3. Secara umum, penyerap yang baik juga pemancar yang baik. Apakah hasil anda sesuai dengan konsep ini ?
4. Jika hitam didefinisikan memancarkan radiasi 100%, buatlah tabel prosentase emisi radiasi relatif terhadap hitam untuk masing-masing permukaan yang lain ?

B. Serapan dan Transmisi Radiasi Termal

1. Untuk berbagai lempeng penutup yang berbeda pada suhu yang sama, apakah radiasi termal yang dipancarkan berbeda?
2. Bagaimana menurut anda, fenomena kehilangan panas setelah melewati sebuah benda?
3. Berikan ulasan mengenai efek rumah kaca (“*greenhouse effect*”)?

C. Hukum Stefan-Boltzman (temperatur rendah)

1. Buatlah grafik radiasi terpancar (sumbu y) terhadap $T_K^4 - T_m^4 (K_4)$?
2. Apakah grafik anda sesuai dengan hukum Stefan-Boltzman pada suhu rendah?
3. Apakah grafik tersebut berbentuk garis lurus?

Berikan kesimpulan yang memadai!

Lampiran : Kartu Kendali Praktikum

Nama :

NIM :

Kelompok/ shift :

Tgl	Judul Eskperimen	Nilai Prak.	Nilai Laporan	Asisten
	1. Tetes Minyak Milikan			
	2. Ekperimen e/m			
	3. Efek fotolistrik (h/e)			
	4. Spektrometer kisi			
	5. Difraksi Fraunhofer			
	6. Radiasi Termal (Kubus Leslie)			

Lembar Data Pengamatan

Judul praktikum :

Hari/Tanggal/Jam :

Tempat :

Nama kelompok :

Anggota kelompok :

Nama asisten :

Tabel data pengamatan

Catatan-catatan penting yang teramati selama praktikum

Jember, 2018

Mengetahui dan mengesahkan

(Asisten)