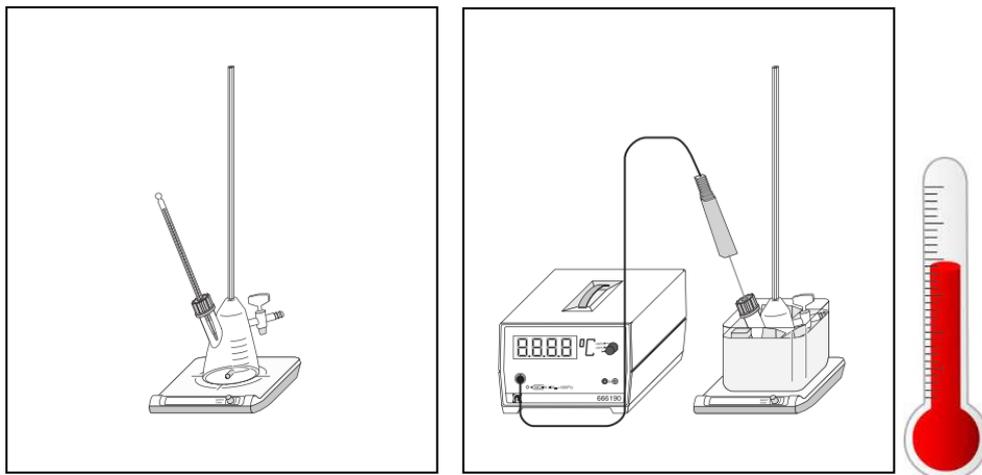


**PANDUAN PRAKTIKUM DAN KUMPULAN MODUL  
FISIKA EKSPERIMEN  
PROGRAM STUDI FISIKA**



**LABORATORIUM FISIKA EKSPERIMEN  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

## **KATA PENGANTAR**

Panduan Praktikum dan Kumpulan Modul Fisika Eksperimen adalah buku panduan yang disusun sebagai pedoman para mahasiswa untuk melakukan praktikum Fisika Eksperimen. Modul-modul yang dimuat dalam panduan ini adalah modul-modul revisi dari modul-modul sebelumnya dari alat-alat yang diterima melalui proyek SUDR maupun melalui Sub Project Management Unit and Professional Skills Development Project (TPSDP), ADB Loan No: 1792-INO. Untuk lebih menyempurnakan isi, Panduan Praktikum ini akan terus dikaji dan apabila diperlukan akan direvisi setiap tahun. Oleh karena itu, diharapkan para asisten memberikan masukan apabila terdapat kekurangan dalam Petunjuk Praktikum dan Kumpulan Modul Praktikum ini.

Kepala Laboratorium  
Fisika Material

Dr. Annisa Aprilia, M.Si.  
NIP. 19820411 200604 2 002

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>2</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>3</b>
<b>PETUNJUK UNTUK MAHASISWA .....</b>	<b>6</b>
1. Tujuan dan Format Praktikum .....	6
2. Hal-hal yang Perlu Dikerjakan Sebelum Datang ke Laboratorium .....	7
3. Tata Tertib Praktikum .....	8
4. Format Log Book.....	9
<b>M 1: GELOMBANG BERDIRI PADA TALI .....</b>	<b>12</b>
I. TUJUAN .....	12
II. ALAT-ALAT PERCOBAAN.....	12
III. TEORI DASAR.....	12
IV. PROSEDUR PERCOBAAN.....	14
V. TUGAS PENDAHULUAN .....	14
VI. TUGAS AKHIR .....	15
<b>MODUL 2: PEMUAIAN ZAT CAIR DAN ANOMALI AIR .....</b>	<b>16</b>
I. TUJUAN PERCOBAAN.....	16
II. ALAT –ALAT YANG DIGUNAKAN .....	16
III. TEORI DASAR.....	16
IV. PROSEDUR PERCOBAAN.....	17
V. TUGAS PENDAHULUAN .....	19
VI. TUGAS AKHIR .....	19
<b>MODUL 3: REFRAKTOMETER ABBE .....</b>	<b>21</b>
I. TUJUAN PERCOBAAN.....	21
II. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN .....	21
III. TEORI DASAR.....	21
IV. PROSEDUR PERCOBAAN.....	25
V. TUGAS PENDAHULUAN .....	26
VI. TUGAS AKHIR .....	26
<b>MODUL 4: PEMBIASAN DAN PEMANTULAN GELOMBANG .....</b>	<b>27</b>
I. TUJUAN PERCOBAAN.....	27

II. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN .....	27
III. TEORI DASAR.....	27
IV. PROSEDUR PERCOBAAN.....	30
V. TUGAS PENDAHULUAN .....	34
<b>M 5: PENENTUAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAMPAK .....</b>	<b>35</b>
I. TUJUAN .....	35
II. ALAT-ALAT PERCOBAAN.....	35
III. TEORI DASAR.....	35
IV. PROSEDUR PERCOBAAN.....	38
V. TUGAS PENDAHULUAN .....	39
VI. TUGAS AKHIR .....	39
<b>MODUL 6: ROTATOR HARMONIS .....</b>	<b>40</b>
I. Tujuan Percobaan .....	40
II. Alat-Alat yang Digunakan .....	40
III. Teori Dasar.....	40
IV. Prosedur Percobaan .....	44
V. Tugas Pendahuluan.....	45
VI. Tugas Akhir .....	46
<b>MODUL 7: DIFRAKSI CELAH DAN KISI GANDA.....</b>	<b>50</b>
I. Tujuan Percobaan .....	50
II. Alat-alat yang Digunakan .....	50
III. Teori Dasar.....	51
IV. Prosedur Percobaan .....	55
V. Tugas Pendahuluan.....	56
VI. Tugas Akhir .....	57
<b>MODUL 8: OSILOSKOP .....</b>	<b>58</b>
I. Tujuan Percobaan .....	58
II. Alat-alat yang Digunakan .....	58
III. Teori Dasar.....	58
IV. Prosedur Percobaan .....	62
V. Tugas Pendahuluan.....	65
VI. Tugas Akhir .....	65
<b>MODUL 9: DISPERSI DAN DAYA PEMECAH PRISMA.....</b>	<b>67</b>

I.	Tujuan Percobaan .....	67
II.	Alat-alat yang Digunakan .....	67
III.	Teori Dasar .....	68
IV.	Prosedur Percobaan .....	72
V.	Tugas Pendahuluan .....	74
VI.	Tugas Akhir .....	74
<b>MODUL 10: KONSTANTA DIELEKTRIK.....</b>		<b>75</b>
I.	Tujuan Percobaan .....	75
II.	Alat-alat yang Digunakan .....	75
III.	Teori Dasar .....	76
IV.	Prosedur Percobaan .....	82
V.	Tugas Pendahuluan .....	84
VI.	Tugas Akhir .....	84

## PETUNJUK UNTUK MAHASISWA

### 1. Tujuan dan Format Praktikum

Fisika Eksperimen adalah praktikum yang didesain untuk mahasiswa Fisika semester ke tiga dan semester empat. Agar mahasiswa (praktikan) dapat mengikuti praktikum dengan baik, sebelum memulai praktikum, praktikan harus memiliki kemampuan dasar untuk praktikum. Praktikan yang tidak memiliki kemampuan dasar praktikum sebelum memasuki laboratorium eksperimen yang lebih kompleks berada dalam kondisi kerugian. Oleh karena itu langkah pertama yang harus dipersiapkan adalah: mengikuti satu persatu praktikum pendahuluan dengan tujuan pengenalan konsep-konsep, alat-alat dan prosedur yang akan digunakan dalam praktikum yang akan diikuti.

Fisika Experimen terdiri dari topik termofisika mekanika, listrik magnet dan optik. Setiap eksperimen yang didesain membutuhkan enam jam (300 menit) kegiatan di laboratorium dan enam jam pekerjaan di rumah untuk mendapatkan hasil yang akan dipresentasikan.

## 2. Hal-hal yang Perlu Dikerjakan Sebelum Datang ke Laboratorium

Dalam penyelenggaraan Fisika Eksperimen tidak diadakan perkuliahan reguler. Sepintas penjelasan umum mengenai teori yang relevan akan dijelaskan pada pertemuan awal, yaitu dibagian perkuliahan pendahuluan. Selain itu ditampilkan pula secara singkat di dalam panduan laboratorium. Oleh karena itu, di dalam panduan hanya akan ditemukan sepintas intisari dari praktikum dan untuk menggali latar belakang teori praktikan harus mencarinya di dalam **text book** atau referensi lain yang tersedia.

Sebelum memulai eksperimen, praktikan harus membaca panduan, **text book**

dan menulis jawaban soal-soal pendahuluan yang diberikan. Dengan mempertimbangkan waktu kerja di laboratorium yang sangat terbatas, disarankan agar praktikan **merencanakan kerja sebelum praktikum:**

1. Membuat daftar tujuan praktikum,
2. Membuat daftar hal-hal yang harus dilakukan dan data yang harus diperoleh pada praktikum,
3. Mengenali alat-alat yang perlu dikalibrasi,
4. Mengerti masalah-masalah khusus yang mungkin dihadapi

Praktikan harus mencatat informasi yang cukup mengenai hal-hal yang dilakukan dan data-data yang diperoleh secara lengkap sehingga informasi tersebut dapat dipublikasikan tanpa harus mengulang eksperimen. Catatan eksperimen (*Log Book*) harus mencantumkan **tanggal, diagram, narasi, tabel data mentah, formula, perhitungan, data yang direduksi, analisa kesalahan (error), dan simpulan secara ringkas dan cermat dalam susunan yang rapi.**

### 3. Tata Tertib Praktikum

- 1) Praktikan harus hadir sesuai dengan jadwal kelompok masing-masing (**tidak ada** toleransi waktu keterlambatan).
- 2) Praktikan harus berpakaian sopan dan rapih. Tidak diperbolehkan memakai sandal, memakai baju tanpa kerah, makan, minum dan merokok di Laboratorium.
- 3) Sebelum melakukan percobaan, pada pertemuan awal, praktikan harus menyerahkan **Laporan Awal** yang dikerjakan dengan tulisan tangan di **Buku Jurnal (Log Book)** sesuai dengan modul yang telah ditentukan kepada Dosen/Asisten pengawas praktikum. Praktikan yang tidak membawa *Log Book* **tidak** diperbolehkan mengikuti praktikum.
- 4) Praktikan harus memeriksakan rangkaian alat praktikum kepada Dosen/Asisten Pengawas sebelum rangkaian dihubungkan dengan sumber tegangan PLN.
- 5) Laporan yang berisi data-data hasil praktikum dan analisa data sementara dikerjakan di Buku Jurnal dan di Acc oleh Dosen/Asisten Pengawas **15 menit** sebelum waktu praktikum berakhir dan menyerahkan *copy* data hasil praktikum kepada Dosen/Asisten pengawas.
- 6) Setelah percobaan selesai, praktikan harus melepas stop-kontak dan mengembalikan alat-alat yang telah digunakan pada tempatnya.
- 7) Praktikan yang tidak masuk lebih dari **1 modul** (dua kali pertemuan) dianggap mengundurkan diri.
- 8) Pada waktu praktikum berlangsung praktikan tidak diperkenankan keluar Laboratorium tanpa adanya ijin dari Dosen/Asisten pengawas.
- 9) Praktikan harus mengumpulkan **Laporan Akhir** sesuai dengan format yang telah ditentukan dengan menuliskan pengolahan data, analisa dan kesimpulan pada logbook masing-masing praktikan dan mengisi lembar kerja yang telah disediakan.

#### Catatan:

Asisten berhak **mengeluarkan praktikan** yang tidak mentaati tata-tertib.

#### 4. Format Log Book

Log Book ditulis dalam buku *Campus* diberi Nama, NPM, Partner & NPM Partner, Jadwal Praktikum dan disampul seragam.

<b>Log Book</b>	
<b>Fisika Eksperimen</b>	
Nama	:
NPM	:
Partner	:
NPM	:
Jadwal Praktikum	:
	:
	
Laboratorium Fisika Eksperimen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran Tahun	

#### Isi Log Book

Judul Praktikum:

Hari/Tanggal :

#### I. Latar Belakang

#### II. Tujuan Percobaan

Kolom uraian (I & II) dicantumkan point-point penting yang berhubungan dengan praktikum modul yang bersangkutan.

#### III. Teori Dasar dan Rumus yang Digunakan

Dicantumkan konsep dasar, hukum-hukum fisika dan rumus yang

digunakan

**IV. Tugas Pendahuluan**

Diisi dengan jawaban tugas pendahuluan yang terdapat pada modul yang bersangkutan, tanpa dibatasi jumlah halamannya

**V. Prosedur Percobaan**

Urutan Prosedur Percobaan dan Kalibrasi Alat dengan menggunakan **kalimat aktif**.

**VI. Data dan Analisa Sementara**

Data-data hasil pengukuran dalam percobaan sesuai dengan Prosedur Percobaan termasuk Data Kalibrasi dan Konversi. Analisa data yang diperoleh selama praktikum sesuai dengan urutan Prosedur Percobaan

**15 menit sebelum** waktu praktikum selesai, praktikan wajib menyerahkan Buku Kerjanya masing-masing kepada Asisten yang bersangkutan.

## 5. Penilaian Praktikum

Penilaian praktikum untuk semua modul dilakukan berdasarkan komponen sebagai berikut:

No	Komponen Penilaian	Dasar Penilaian	Prosentase
1	Kehadiran, sikap aktif, menulis catatan (logbook), perencanaan dan pengertian eksperimen secara fisis.	Komunikasi antara asisten dengan praktikan selama praktikum dan penilaian logbook praktikan.	30
2	Metode dan susunan alat, jumlah dan kualitas data, struktur laporan, penyajian data dalam laporan.	Membaca laporan yang dikumpulkan dan diskusi akhir saat presentasi hasil praktikum.	30
3	Pemikiran pendekatan tujuan praktikum, analisis data secara kritis dan pengambilan simpulan yang akurat, mengerti kesalahan data.	Diskusi akhir data hasil eksperimen yang disajikan dalam laporan dan logbook.	40

## **M 1: GELOMBANG BERDIRI PADA TALI**

### **I. TUJUAN**

1. Memahami prinsip kerja percobaan gelombang tali.
2. Mengetahui hubungan antara frekuensi gelombang dengan panjang gelombang
3. Mempelajari hubungan antara cepat rambat gelombang dengan tegangan tali
4. Mengetahui fungsi gelombang pada tali.

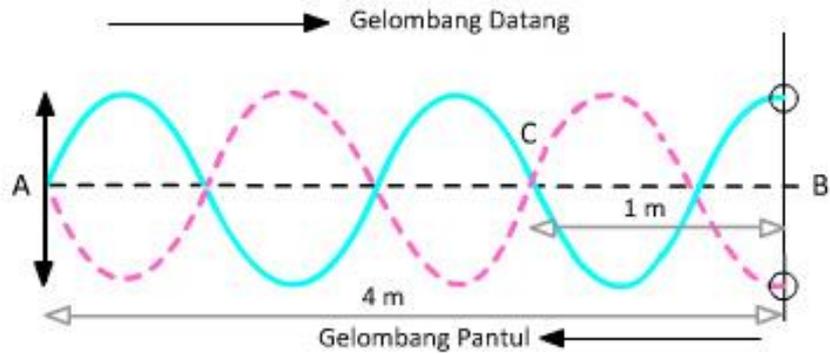
### **II. ALAT-ALAT PERCOBAAN**

1. *Vibration Generator*
2. *Frequency Generator*
3. Tali
4. Statif
5. Kabel penghubung

### **III. TEORI DASAR**

Bila gelombang mengenai suatu rintangan, atau datang pada ujung media di mana gelombang tersebut berjalan, paling tidak sebagian gelombang akan dipantulkan. Sebuah pulsa gelombang berjalan pada seutas tali akan dipantulkan, jika ujung tali tetap maka gelombangnya kembali ke kanan ke sisi atas jika ujungnya bebas. Bila ujungnya diikat pada penopang maka pulsa yang mencapai ujung tetapnya akan mengerjakan gaya (ke atas) pada penopangnya.

Tali secara sederhana berosilasi naik dan turun dengan pola yang tetap. Titik interferensi destruktif, di mana tali dipertahankan tenang, disebut simpul; titik interferensi konstruktif, di mana tali berosilasi dengan amplitudo maksimum, disebut perut. Simpul dan perut dipertahankan dalam posisi yang tetap untuk frekuensi tertentu. Gelombang berdiri adalah hasil interferensi dua gelombang berjalan dalam arah yang berlawanan.



**Gambar 1.** Bentuk penjalaran gelombang berdiri.

Menurut Young, kita dapat menurunkan fungsi gelombang untuk gelombang berdiri dengan menambahkan fungsi gelombang  $y_1(x,t)$  dan  $y_2(x,t)$  untuk dua gelombang dengan amplitudo yang sama, periode yang sama, dan panjang gelombang yang sama yang berjalan dalam arah yang berlawanan. Disini  $y_1(x,t)$  menyatakan gelombang masuk yang berjalan ke kiri sepanjang sumbu  $x$  positif yang tiba dititik  $x=0$  dan direfleksikan  $y_2(x,t)$  menyatakan gelombang yang direfleksikan dari ujung tetap dawai akan dibalikkan, sehingga kita memberikan tanda negatif untuk salah satu gelombang itu:

$$y_1(x, t) = A \sin(\omega t + kx) \quad \text{(berjalan ke kiri)}$$

$$y_2(x, t) = -A \sin(\omega t - kx) \quad \text{(berjalan ke kanan)}$$

Perubahan tanda bersesuaian dengan perubahan fasa sebesar  $180^\circ$  atau  $\pi$  radian. Di  $x = 0$  gerak dari gelombang masuk adalah  $A \sin \omega t$ , yang dapat juga dituliskan sebagai  $A \sin(\omega t + \pi)$ . Fungsi gelombang untuk gelombang berdiri itu adalah jumlah dari fungsi-fungsi gelombang individu tersebut:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = A [\sin(\omega t + kx) - \sin(\omega t - kx)]$$

Menggunakan identitas sinus dari jumlah dan selisih dua sudut:  $\sin(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$ . Dengan menggunakan persamaan ini dan menggabungkan suku-sukunya, kita mendapat fungsi gelombang untuk gelombang berdiri itu:

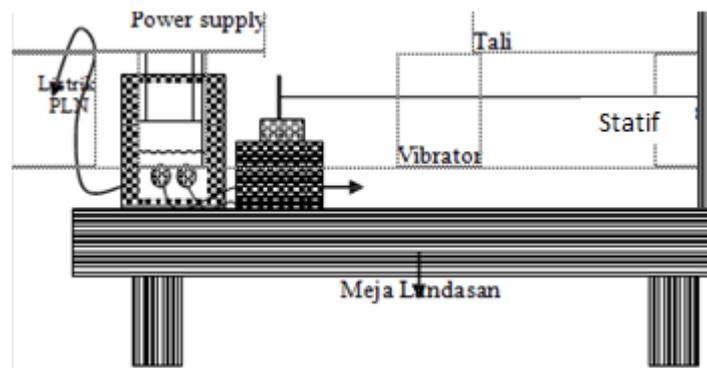
$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = (2A \sin kx) \cos \omega t$$

$$\text{atau } y(x, t) = (A_{sw} \sin kx) \cos \omega t$$

Amplitudo gelombang berdiri adalah  $A_{sw}$  adalah dua kali amplitudo  $A$  dari yang mana saja dari gelombang berjalan yang semula:

$$A_{sw} = 2A$$

#### IV. PROSEDUR PERCOBAAN



**Gambar 2.** Susunan peralatan untuk percobaan gelombang berdiri

1. Merangakai alat seperti pada Gambar 2.
2. Menghubungkan *vibration generator* ke *frequency generator*.
3. Menghubungkan tali sepanjang 50 cm pada vibration generator dan statif.
4. Memberikan tegangan sebesar 5 Volt.
5. Memvariasikan nilai frekuensi yang diberikan ( $f = 15 \text{ Hz}$ ,  $20 \text{ Hz}$ , dan  $25 \text{ Hz}$ )
6. Mengukur besarnya amplitude dan panjang gelombang yang terbentuk akibat adanya getaran.
7. Mengulangi prosedur 3 sampai 6 dengan panjang tali 70 cm.

#### V. TUGAS PENDAHULUAN

1. Jelaskan apakah yang disebut dengan gelombang berdiri pada tali.
2. Jelaskan peristiwa gelombang berdiri pada tali.
3. Sebutkan karakteristik dari gelombang berdiri pada tali.
4. Jelaskan hubungan antara besaran- besaran pada gelombang berdiri.

## **VI. TUGAS AKHIR**

1. Gambarkan grafik hubungan frekuensi terhadap panjang gelombang.
2. Gambarkan grafik hubungan cepat rambat gelombang dengan tegangan tali.
3. Tentukan fungsi gelombang yang terjadi pada gelombang berdiri pada tali.

## MODUL 2: PEMUAIAN ZAT CAIR DAN ANOMALI AIR

### I. TUJUAN PERCOBAAN

1. Untuk mengetahui cara pengukuran volume zat cair
2. Untuk memahami sifat anomali air

### II. ALAT -ALAT YANG DIGUNAKAN

1. Tabung peraga anomali air
2. Pengaduk magnetic
3. Pengukur temperatur digital
4. Statip, selang plastik dan corong
5. Es
6. Air murni
7. Kotak pendingin

### III. TEORI DASAR

Hampir setiap zat akan mengembang bila dipanaskan dan akan menyusut bila didinginkan. Perubahan panjang zat tersebut sebanding dengan besar perubahan temperatur yang dialaminya. Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (1)$$

dengan :

- $\alpha$  = koefisien muai panjang  
 $L$  = panjang mula-mula  
 $\Delta T$  = perubahan temperatur  
 $\Delta L$  = perubahan panjang

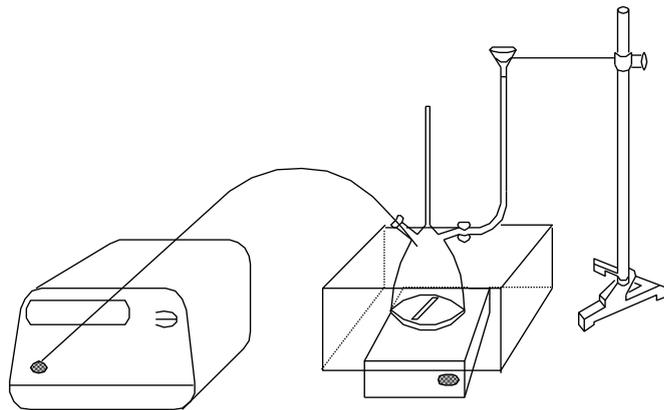
Pemanasan juga akan menyebabkan pengembangan volume zat :

$$\Delta V = gV\Delta T \quad (2)$$

dengan

$g$  = koefisien muai volume  
 $V$  = volume mula-mula  
 $\Delta V$  = perubahan volume

Air sebagaimana umumnya suatu zat, akan bertambah volumenya bila mengalami kenaikan temperatur dan akan menyusut volumenya bila temperaturnya diturunkan. Akan tetapi diantara temperatur  $0^{\circ} - 4^{\circ}\text{C}$ , air menunjukkan fenomena yang bertentangan dengan sifat umum zat-zat lainnya. Diantara temperatur tersebut air akan mengalami penyusutan volume jika temperaturnya dinaikkan dan jika temperaturnya diturunkan air akan mengembang.



**Gambar 1.** Susunan peralatan untuk mengamati eksperimen anomali air.

#### **IV. PROSEDUR PERCOBAAN**

##### **A. Persiapan**

1. Susunlah peralatan anomali air seperti dalam Gambar 1.
2. Isi tabung peraga dengan air melalui corong hingga penuh, kemudian tutup kunci buret.

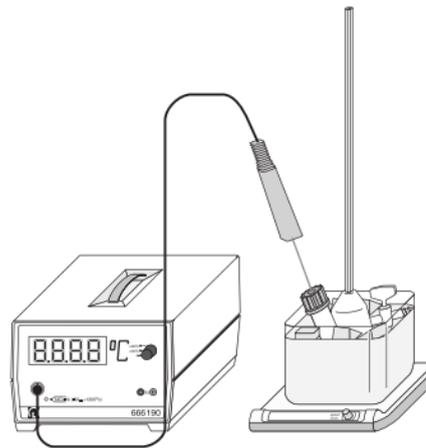
## B. Langkah Percobaan

### a. Penurunan Temperatur

1. Meletakkan tabung peraga pada kotak pendingin, kemudian isi kotak tersebut dengan es dan sedikit air sehingga menutupi tabung gelas.
2. Meletakkan diatas pengaduk magnetik dan atur perputarannya menjadi 350 putaran per menit.
3. Menurunkan temperatur sampai kira-kira  $17^{\circ}\text{C}$ , kemudian mengisi air kembali hingga tingginya mencapai 35 cm.
4. Mencatat ketinggian permukaan air pada setiap penurunan temperatur sebesar  $0,2^{\circ}\text{C}$  hingga temperatur air sukar menjadi lebih dingin lagi.

#### **Catatan :**

*Pada saat temperatur sudah hampir mencapai titik beku, tabung gelas harus cepat diangkat dari kotak pendingin.*



**Gambar 2.** Susunan peralatan untuk percobaan dengan menurunkan temperatur.

### b. Peningkatan Temperatur

1. Mengeluarkan tabung untuk menaikkan temperatur jika temperatur air dalam tabung gelas peraga sudah mendekati  $0^{\circ}\text{C}$ .
2. Meletakkan tabung diatas pengaduk magnetik.
3. Mencatat ketinggian air pada setiap kenaikan temperatur.

## **V. TUGAS PENDAHULUAN**

1. Jelaskan apakah yang disebut dengan temperatur, kerapatan suatu zat dan koefisien muai volume.
2. Jelaskan peristiwa anomali air.
3. Buktikan bahwa  $\rho = 3\rho$ .
4. Sebutkan beberapa zat yang mempunyai sifat anomali yang serupa dengan air.
5. Gambarkan kurva yang menunjukkan perubahan volume air terhadap temperaturnya.
6. Buat bagan data pengamatan.

## **VI. TUGAS AKHIR**

1. Gambarkan kurva perubahan volume air pada percobaan penurunan temperatur dan kenaikan temperatur.
2. Hitung koefisien muai volume air pada temperatur  $0^{\circ} - 4^{\circ}\text{C}$  dan  $17^{\circ} - 4^{\circ}\text{C}$  pada metode penurunan dan kenaikan temperatur.
3. Hitunglah massa air yang dipakai dalam percobaan.
4. Berikanlah analisis kesimpulan dari percobaan yang Saudara lakukan.

**Tabel 1.** Suhu vs. Massa Jenis Air Murni pada Tekanan Satu Atmosfir

T °C	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	T °C	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	T °C	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
-13	0,997292	18	0,9986248	85	0,96865
-12	0,997292	19	0,9984346	90	0,96534
-11	0,997636	20	0,9982336	95	0,96192
-10	0,997935	21	0,9980221	100	0,95841
-09	0,008249	22	0,9978003	110	0,95099
-08	0,998501	23	0,9975684	120	0,94317
-07	0,998720	24	0,9973266	130	0,93494
-06	0,998950	25	0,9970751	140	0,92629
-05	0,999176	26	0,9968141	150	0,91721
-04	0,999380	27	0,9965437	160	0,90771
-03	0,999553	28	0,9962642	170	0,89776
-02	0,999673	29	0,9959757	180	0,88733
-01	0,999773	30	0,9956783	190	0,87639
0	0,9998676	31	0,9953722	200	0,86492
1	0,9999265	32	0,9950575	210	0,85290
2	0,9999678	33	0,9947344	220	0,84031
3	0,9999922	34	0,9954030	230	0,82712
4	1,0000000	35	0,9950635	240	0,81330
5	0,9999919	36	0,9937159	250	0,79881
6	0,9999683	37	0,9933604	260	0,78368
7	0,9999297	38	0,9929970	270	0,76769
8	0,9998765	39	0,9926260	280	0,75063
9	0,9998092	40	0,9922473	290	0,73237
10	0,9997281	45	0,99024	300	0,71266
11	0,9996336	50	0,98807	310	0,69118
12	0,9995261	55	0,98573	320	0,66747
13	0,9994059	60	0,98324	330	0,64095
14	0,9992732	65	0,98059	340	0,61071
15	0,9991286	70	0,97781	350	0,57497
16	0,9989721	75	0,97489	360	0,52872
17	0,9988041	80	0,97183		

## MODUL 3: REFRAKTOMETER ABBE

### I. TUJUAN PERCOBAAN

1. Mempelajari prinsip kerja alat Refraktometer ABBE.
2. Mengukur indeks bias suatu cairan.
3. Mengetahui pengaruh suhu terhadap indeks bias.
4. Menentukan dispersi  $n_f - n_c$ .

### II. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

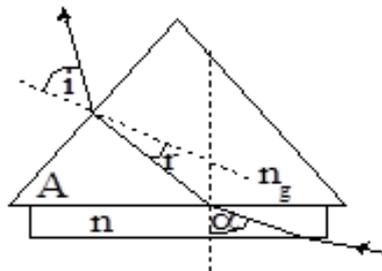
1. Refraktometer ABBE beserta grafik  $n_f - n_c$ .
2. Lampu natrium beserta *power supply* 110 V.
3. Bejana air beserta pompa, pemanas dan pipa-pipa penghubung.
4. Termometer.
5. Minyak dan air.

### III. TEORI DASAR

#### Prinsip Kerja Refraktometer ABBE

Refraktometer ABBE adalah alat pengukur indeks bias suatu zat cair yang mempunyai indeks bias antara 1,3 dan 1,7. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada sifat sudut kritis.

Pada Gambar 1 dapat dilihat suatu bahan dengan indeks bias  $n$  ditempelkan pada gelas prisma yang berindeks bias  $n_g$  dan sudut biasnya  $A$ , dengan sudut prisma  $A$  sekitar  $62^\circ$ .



**Gambar 1.** Perjalanan cahaya dalam prisma dengan indeks bias  $n$

Berdasarkan Gambar 1. (dengan menggunakan Hk. Snellius), diperoleh hubungan:

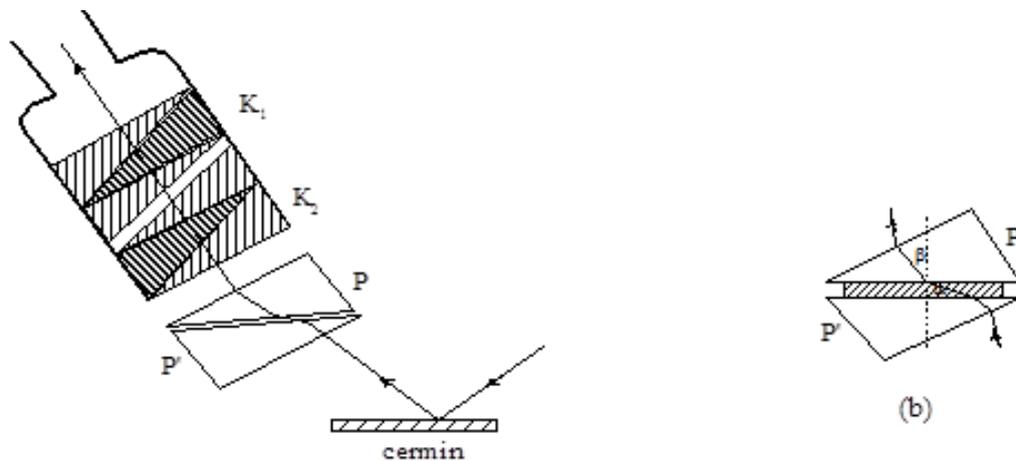
$$n = \sin A \sqrt{n_g^2 - \sin^2 i} + \cos A \sin i \quad (1)$$

dengan:

- $n$  = Indeks bias yang ingin diketahui
- $A$  = sudut prisma
- $n_g$  = indeks bias gelas
- $\alpha$  = sudut bias

Karena harga  $n_g$  dan  $A$  diketahui, salah satu dari dua besaran  $i$  atau  $n$  dapat diukur, sehingga yang lainnya dapat dihitung. Pada refraktometer ini,  $n$  dapat diketahui dari hasil pengukuran, sehingga kita bisa menghitung sudut datang  $i$ .

Skema Refraktometer dapat dilihat dalam Gambar.2 (a). Alat ini terdiri dari sebuah teleskop, dua buah prisma pembias  $P$  dan  $P'$ , dua buah prisma amici  $K_1$  dan  $K_2$  dan cermin sebagai alat pemantul cahaya. Zat cair yang diamati, diletakan antara  $P$  dan  $P'$ . jarak antara dua prisma itu sekitar 0,1 mm. Tiap sistem prisma  $K_1$  dan  $K_2$ , terdiri dari tiga prisma yang ditempelkan. Sistem  $K_1$  dan  $K_2$  ini dinamakan kompensator. Tiga prisma tersebut terdiri dari satu gelas *flint* dan dua gelas *crown*. Sistem ini dibuat agar terbentuk sistem prisma dengan pandangan langsung dan spektrum dapat teramati bila dilalui oleh cahaya tampak (*visible*).



**Gambar 2.** Skema refraktometer ABBE

Bila cahaya melalui suatu medium, maka cahaya tersebut akan terabsorpsi sehingga intensitas cahaya yang keluar dari medium mengalami pengurangan. Berdasarkan teori dielektrik, konstanta dielektrik relatif untuk suatu material dengan jumlah elektron ( $N$ ) persatuan volume, diungkapkan oleh:

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = 1 + \frac{N e^2}{m} \frac{\omega_0^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2 \omega^2} \quad (2)$$

untuk faktor peredaman  $\gamma \ll \omega_0$ , dan  $\omega \ll \omega_0$  sehingga diperoleh :

$$n^2 = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = 1 + \frac{N e^2}{m\omega_0^2} \quad \text{atau} \quad n^2 = 1 + \frac{N_0 e^2}{mM_r \omega_0^2} \rho \quad (3)$$

dengan :  $N = N_0 \frac{\rho}{M}$

Refraktifitas molekular  $r_m$  diungkapkan oleh persamaan berikut ini,

$$r_m = \frac{(n^2 - 1) M_r}{(n^2 - 2) \rho} \quad (4)$$

dan refraksi spesifik didefinisikan sebagai,

$$r_s = \frac{(n^2 - 1) 1}{(n^2 - 2) \rho} \quad (5)$$

dari persamaan 3 dapat diketahui bahwa indeks bias akan bergantung pada temperatur.

### Menentukan Dispersi $n_f - n_c$

Dengan mencatat pembacaan skala drumer  $d$  dari kompensator, maka dapat kita gunakan untuk menentukan dispersi dari suatu zat, yaitu selisih indeks bias garis C dan F dari cahaya natrium.  $n_f - n_c$ , dapat ditentukan dari grafik yang tersedia. Selain itu dapat pula ditentukan dengan rumus empiris sebagai berikut:

$$n_f - n_c = A d^3 + B d^2 + C d + D \quad (6)$$

Harga-harga A, B, C dan dapat dilihat di dalam tabel.

Koefisien	Air	Minyak
A	0.000000431	0.000000385
B	- 0.000038789	- 0.000034480
C	0.000087686	0.000083965
D	0.046535811	0.043503590

### Koreksi

Temperatur prisma dalam refraktometer tidak sama, maka perlu adanya koreksi untuk harga-harga  $n_d$  dengan persamaan:

$$n_{dkor} = n_d + R \times 10^{-5}$$

dengan

$$R = 29,5 D (T_1 - 20) + 0,094 \left( \frac{0,04525}{D} - n_d \right) (T_2 - 20)d \quad (7)$$

dengan:

$n_{dkor}$  = indeks bias hasil koreksi

$n_d$  = indeks bias yang dikoreksi

$R \times 10^{-5}$  = nilai koreksi

D = konstanta yang terdapat pada persamaan (6)

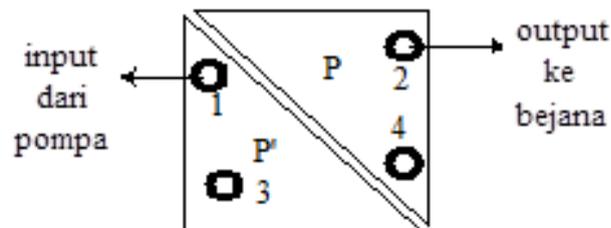
$T_1$  = temperatur prisma ABBE (suhu input).

$T_2$  = temperatur prisma kompensator (suhu output).

#### IV. PROSEDUR PERCOBAAN

##### Persiapan

1. Menyalakan lampu natrium dengan menggunakan sumber tegangan 110V, menunggu selama 5 menit.
2. Menghubungkan lampu natrium dengan voltmeter
3. Memasang termometer pada refraktometer. (Lubang dekat output)
4. Menghubungkan pipa-pipa pada Refraktometer ABBE (Gambar 3). Pipa dari pompa dihubungkan pada lubang masukan pada Refraktometer ABBE. Lubang 3 dan 4 dihubungkan dengan pipa ke bejana. Pasang termometer pada Refraktometer ABBE.



Gambar 3. Penampang input-output refraktometer

##### Menentukan indeks bias minyak pada suhu kamar

1. Membuka prisma dengan hati-hati, membersihkan prisma sampai tidak ada cairan, kemudian meneteskan satu tetes minyak di atas prisma. Menutup dan menguncinya hingga teguh. (Berhati-hati dalam membersihkan prisma agar tidak terjadi goresan)
2. Mengatur cermin pemantul cahaya agar garis silang terlihat dengan jelas.
3. Mengatur tombol kompensator sehingga tampak batas terang dan gelap dengan jelas (tidak berwarna).
4. Mengatur tombol kompensator sehingga batas bayangan terang dan gelap terletak pada perpotongan garis silang.
5. Mencatat skala yang terlihat pada kaca bengala yang menunjukkan harga indeks bias minyak ( $n_d$ ) dan skala yang terlihat pada kompensator yang menunjukkan harga drumer ( $d$ ).

6. Mencatat suhu ruangan dan suhu refraktometer.
7. Menentukan nilai  $n_f - n_c$  dengan bantuan grafik.

### **Menentukan Indeks Bias Air Suling pada Berbagai Suhu**

1. Mengeringkan minyak pada prisma dengan tisu halus dengan hati-hati (tidak terlalu keras). Meneteskan satu tetes air suling pada prisma
2. Menutup kembali prisma
3. Memastikan semua alat terhubung dengan benar, sebelum pompa dan heater dihidupkan. (Konfirmasi asisten)
4. Menyalakan heater dan pompa.
5. Melakukan percobaan 2 s/d 5 pada prosedur a untuk suhu 25°C.
6. Mengamati suhu input dan outputnya.
7. Melakukan percobaan 4 untuk variasi suhu antara 25°C sampai dengan 60°C.
8. Dengan bantuan grafik menentukan nilai  $n_f - n_c$  pada masing-masing variasi suhu.

### **V. TUGAS PENDAHULUAN**

1. Bagaimana cara kerja refraktometer ABBE.
2. Buktikan semua persamaan pada teori dasar.

### **VI. TUGAS AKHIR**

1. Hitung nilai terbaik indeks bias minyak pada suhu kamar.
2. Hitung besarnya indeks bias koreksi dan hitung besarnya kesalahan relative.
3. Hitung nilai  $n_f - n_c$  berdasarkan teori dan bandingkan dengan hasil percobaan.
4. Dari prosedur b, buat grafik indeks bias air terhadap suhu dan buat persamaan grafiknya! Apa analisis anda mengenai grafik tersebut.
5. Hitung besarnya  $n_d$  koreksi dan hitung besarnya kesalahan relatif untuk  $n_d$  air suling pada setiap variasi suhu.
6. Hitung nilai  $n_f - n_c$  untuk setiap variasi suhu dan bandingkan dengan hasil percobaan.

## MODUL 4: PEMBIASAN DAN PEMANTULAN GELOMBANG

### I. TUJUAN PERCOBAAN

1. Mempelajari prinsip penjalaran gelombang.
2. Menghitung kecepatan penjalaran gelombang.
3. Mengetahui prinsip pembiasan dan pemantulan gelombang.

### II. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

1. *Stroboscope*
2. Pembangkit gelombang
3. Meja air
4. Kaca Cermin
5. Besi Pengetuk gelombang satu sumber dan sumber gelombang parallel
6. Plat *Acrylic*, persegi panjang
7. Tombol *Remote Control*
8. *Power supply* 12 V DC
9. Penggaris dan busur derajat
10. Kertas

### III. TEORI DASAR

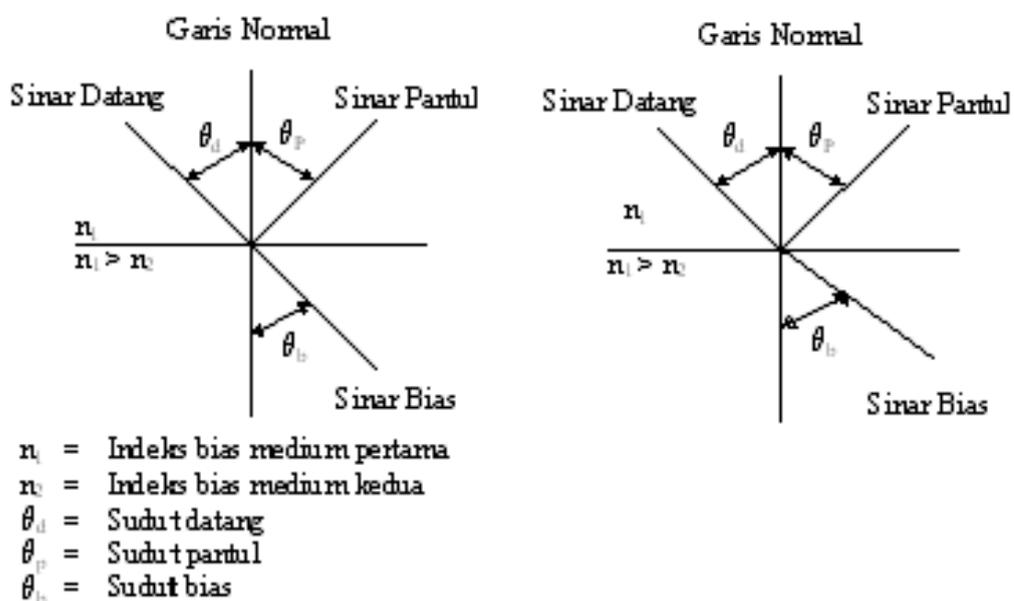
Saat Anda melempar sebuah batu kecil pada permukaan air yang tenang, akan muncul gelombang yang berbentuk lingkaran dan bergerak ke luar. Sebenarnya yang tampak adalah setiap partikel air tersebut berosilasi (bergerak naik turun) terhadap titik setimbangnya. Hal ini berarti bahwa gelombang tidak memindahkan air tersebut. Jadi, air hanya berfungsi sebagai medium bagi gelombang untuk merambat.

Gelombang adalah suatu getaran yang merambat, dalam perambatannya gelombang membawa energi. Dengan kata lain, gelombang merupakan getaran yang merambat dan getaran sendiri merupakan sumber gelombang. Jadi, gelombang adalah getaran yang merambat dan gelombang yang bergerak akan merambatkan energi (tenaga).

Panjang gelombang adalah ukuran jarak antara pengulangan dari cirinya seperti bentuk puncak, lembah, atau nol-penyeberangan, bukan ukuran seberapa jauh setiap gerakan gelombang tertentu.

Frekuensi adalah banyaknya getaran gelombang selama satu detik. Yang dimaksudkan dengan getaran di sini adalah getaran lengkap. Satuan frekuensi adalah 1/sekon atau  $s^{-1}$ . 1/sekon atau  $s^{-1}$  disebut juga Hertz.

### Hukum Snell



**Gambar 1.** Bentuk penjalaran gelombang pada medium

Pada umumnya cepat rambat gelombang dalam satu medium tetap. Oleh karena frekuensi gelombang selalu tetap, maka panjang gelombang ( $\lambda=v/f$ )

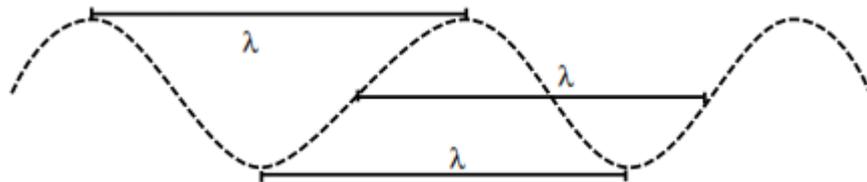
juga tetap untuk gelombang yang menjalar dalam satu medium. Perubahan panjang gelombang dapat juga diamati di dalam tangki riak dengan cara memasang keping gelas tebal pada dasar tangki sehingga tangki riak memiliki dua kedalaman air yang berbeda, dalam dan dangkal. Panjang gelombang di tempat yang dalam lebih besar daripada panjang gelombang di tempat yang dangkal ( $\lambda_1 > \lambda_2$ ). Oleh karena kecepatan gelombang sebagai

$$v = \lambda \times f \quad (1)$$

maka cepat rambat gelombang di tempat yang dalam lebih besar daripada di tempat yang dangkal ( $v_1 > v_2$ ).

Perubahan panjang gelombang menyebabkan pembelokan gelombang (pembiasan gelombang lurus) sewaktu gelombang lurus mengenai bidang batas antara tempat yang dalam ke tempat yang dangkal dalam suatu tangki riak. Pembelokan gelombang dinamakan pembiasan.

Sudut pembiasan bergantung pada kecepatan cahaya didalam media air dan pada sudut datang.



**Gambar 2.** Gelombang harmonik

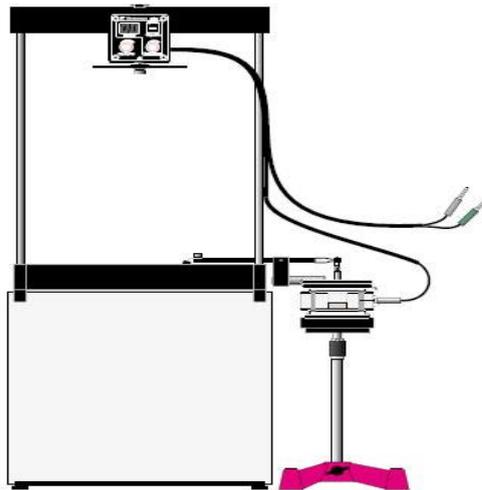
$$\frac{\sin(I)}{\sin(b)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_{dangkal}}{\lambda_{dalam}} \quad (2)$$



**Gambar 3.** Proyeksi gelombang air di atas meja air ( $\lambda$  adalah satu panjang gelombang)

#### IV. PROSEDUR PERCOBAAN

Mengatur alat seperti Gambar 4



**Gambar 4.** Seting alat pembangkit gelombang harmonik

##### 1. Persiapan

Sebelum *power supply* dihidupkan

- a) Memposisikan alat-alat percobaan seperti pada Gambar 2. dan mempelajari fungsi masing-masing komponen alat.
- b) Membersihkan dan isi meja air (*ripple tank*) dengan air sampai menutupi permukaan meja setinggi 1 s.d 2 cm (pipa pembuangan air harus dalam kondisi tertutup dengan menggunakan penjepit).
- c) Memasang besi pengetuk air (*single dipper*) pada batang besi yang

terhubung dengan alat pembangkit gelombang.

- d) Menghidupkan *power supply*, lalu mengatur frekuensi gelombang dengan memutar tombol *reg. frequency* pada alat *stroboscope*.
- e) Mengeetukkan besi pengetuk (*dipper*) pada permukaan air dengan cara menekan tombol *remote control* satu atau berkali-kali. Mengamati gerak gelombang yang terbentuk pada layar proyeksi.

## 2. Menentukan Kecepatan Gelombang Harmonik

### Percobaan 1

- a) Menggunakan penggaris pada meja air untuk mengukur panjang gelombang dalam meter, dan membuat catatan besar frekuensi dalam Hz yang terbaca pada lampu strob.
- b) Memilih frekuensi lain dengan cara mengatur tombol *reg. frequency* pada alat *Stroboscope* dan mengulangi pengukuran  $\lambda$  dan  $f$ .
- c) Membuat tabel data untuk 5 kali pengukuran. Mengamati bentuk gelombang yang terjadi pada layar proyeksi dan menggambarkannya.
- d) Menghitung kecepatan gelombang untuk setiap pasang pengukuran
- e) Menyelidiki apakah kecepatan gelombang bernilai konstan atau tidak f) Menghitung rata-rata kecepatan gelombang

### Percobaan 2

Persamaan  $v = \lambda \times f$  dapat ditulis sebagai  $\lambda = v \times f^{-1}$ , karena itu sistem koordinat dengan  $\lambda$  di plot sebagai fungsi  $f^{-1}$  sebagai garis lurus, garis lurus yang dihasilkan berupa kecepatan ( $v$ ) gelombang sebagai slope (kemiringan) garis.

- a) Menggambar grafik dari data diperoleh. Menyelidiki apakah grafik menghasilkan sebuah garis lurus yang melalui titik nol (0,0) atau tidak.
- b) Menemukan kemiringan garis, dan membandingkan dengan nilai kecepatan rata-rata di percobaan 1.

### Percobaan 3

Karena sulit untuk mengukur  $\lambda$  dengan tepat, adalah ide yang bagus untuk mengulang percobaan dengan mengukur  $5\lambda$  bukannya  $\lambda$ . Melakukan prosedur berikut sampai 5 set data pengukuran.

- a) Menghitung  $\lambda$  dan  $v$  untuk tiap set data. Apakah bernilai konstan atau tidak.
- b) Menghitung nilai rata-rata kecepatan gelombang
- c) Menggambarkan grafik seperti percobaan 2, tetapi dengan  $\lambda$  yang di plot sebagai fungsi dari  $f^{-1}$ . menghitung kemiringan  $v$ .
- d) Membandingkan 4 nilai  $v$  yang diperoleh: nilai rata-rata percobaan 1, kemiringan dari percobaan 2, dan nilai rata-rata dan kemiringan dari percobaan 3.

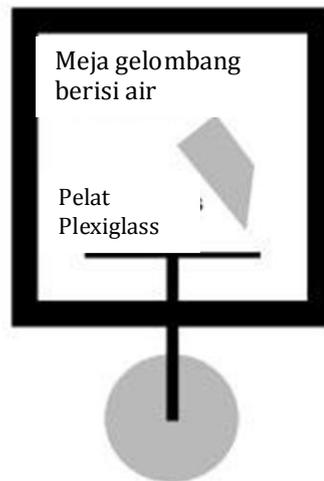
### 3. Pembiasan dan Pemantulan Gelombang

#### Percobaan 1

- a) Menyiapkan setting percobaan seperti Gambar 5, menggunakan pengetuk sumber gelombang paralel. Menggunakan frekuensi antara 15 Hz dan 30 Hz.

Karena kecepatan propagasi lebih rendah di air dangkal daripada di air dalam, gelombang akan dibiaskan di perbatasan antara air dangkal dan air dalam. Ini berarti bahwa arah propagasi gelombang akan berubah. Arah propagasi selalu normal terhadap muka gelombang.

- b) Menempatkan selembar kertas di atas meja dan amati batas antara air dalam dan air dangkal (yaitu tepi lempeng plexiglas), dan mengamati 3 sampai 5 muka gelombang untuk air dalam dan air dangkal.
- c) Menggunakan gambar untuk menentukan panjang gelombang untuk  $\lambda$  "dangkal" dan untuk  $\lambda$  "dalam".



**Gambar 5** Setup untuk menunjukkan pembiasan gelombang air.

- d) Mengukur juga sudut datang ( $i$ ) gelombang air dan sudut bias ( $b$ ) menggunakan busur derajat. Sudut ( $i$ ) dan sudut ( $b$ ) dapat diukur sebagai sudut antara muka gelombang dan batas antar muka. Menurut hukum pembiasan (hukum Snellius).

$$\frac{\sin(i)}{\sin(b)} = \frac{\lambda_{\text{dangkal}}}{\lambda_{\text{dalam}}} \quad (3)$$

## Percobaan 2

- a) Saat gelombang menghantam dinding, gelombang akan dipantulkan. Dalam hal ini hukum refleksi (pemantulan) berlaku. Hal ini dapat dinyatakan secara singkat sebagai berikut:

***'Sudut datang sama dengan sudut pantul'***

Sangat sulit untuk mengamati gelombang yang terpantul di permukaan air, tetapi dengan menggunakan frekuensi sekitar 40Hz pantulan dapat teramati. Dalam percobaan ini penting untuk menyesuaikan amplitudo sampai pantulan terlihat jelas.

- b) Mengatur percobaan seperti yang dilakukan pada percobaan 1 (Gambar 5), tetapi tinggi permukaan air harus diatur sehingga plat *plexiglass* tidak tertutup oleh air.
- c) Meletakkan lembaran kertas dibawah permukaan air pada meja air (ripple tank), dan menggambar muka gelombang dan permukaan gelombang pantul.

- d) Mengukur sudut datang dan sudut pantul, dan mengamati apakah sudut keduanya sama atau tidak

## V. TUGAS PENDAHULUAN

- a) Terangkan dan jelaskan sifat-sifat gelombang dibawah ini:
1. Hubungan antara  $\lambda$  dan  $f$  menjadi:  $v = f \cdot \lambda$ , di mana  $v$  adalah kecepatan rambat gelombang,  $f$  adalah frekuensi dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang.
  2. Prinsip Pemantulan (*Reflection*) gelombang
  3. Prinsip Pembiasan (*Refraction*) gelombang
- b) Tentukan posisi bayangan yang dibentuk oleh cermin datar relative terhadap jarak gambar dari cermin.
- c) Tentukan bagaimana kecepatan gelombang bergantung pada frekuensi dan kedalaman air.

## **M 5: PENENTUAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAMPAK**

### **I. TUJUAN**

Tujuan percobaan ini adalah untuk menentukan besar panjang gelombang dari cahaya tampak dengan menggunakan konsep difraksi dan interferensi.

### **II. ALAT-ALAT PERCOBAAN**

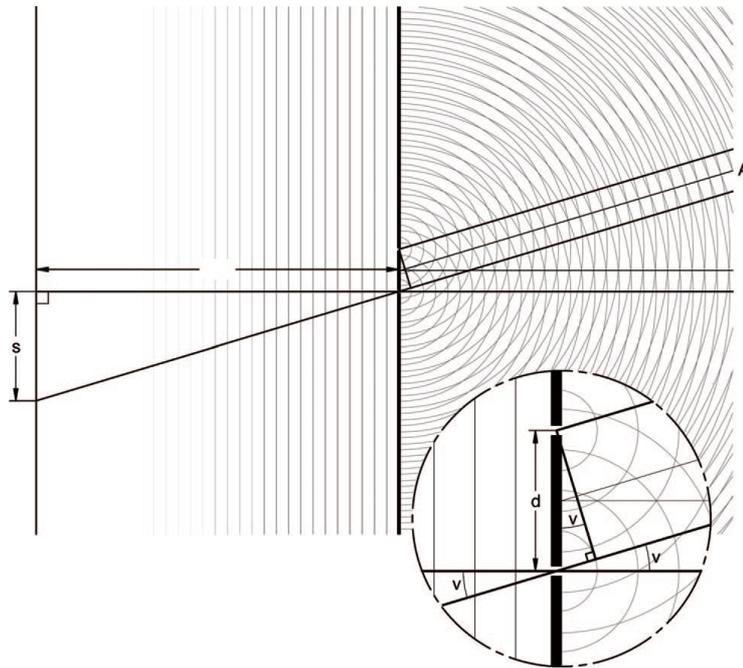
Dalam praktikum terdapat beberapa alat yang digunakan, yaitu:

1. Sumber cahaya berupa Lampu Halogen.
2. *Filter* cahaya berwarna, dipasang pada tiang penopang dilengkapi dengan penggaris horizontal dan simetris tegak lurus terhadap tiang penopang. Pada penggaris tersebut terpasang dua penanda yang dapat digerakkan ke kiri dan ke kanan. Kedua penanda dipasang sejajar.
3. Celah ganda yang dipasang pada bingkai kotak. Pada layar tersebut terdapat dua celah terbuka yang sejajar (celah ganda), masing-masing lurus memanjang vertikal, dari batas atas bingkai, hingga batas bawah bingkai.

### **III. TEORI DASAR**

Pada Gambar 1, A menandakan titik dengan interferensi konstruktif. Perhatikan bahwa jarak A dari celah bawah persis lebih panjang 1 panjang gelombang dari pada dari celah atas.

Interferensi konstruktif juga muncul pada titik tengah, di sini perbedaan jarak selalu 0.



**Gambar 1.** Difraksi gelombang melewati celah ganda

Temukanlah titik dengan interferensi konstruktif yang memiliki beda jarak 2 panjang gelombang pada Gambar 1.

Panjang gelombang ekstra dari celah yang jarak tempuhnya lebih jauh menuju A membentuk sisi pendek pada segi tiga siku-siku sudut kanan, dengan sisi miring adalah jarak diantara kedua celah.

Sinar cahaya yang sedang bergerak menuju A terpantul pada sudut  $v$ . Sebagaimana gambar di atas,  $v$  juga nilai sudut pada segi tiga kecil.

Dengan demikian, pada segi tiga kecil itu berlaku hubungan:  $\lambda = d \sin(v)$

Dengan hasil ini dapat diartikan bahwa interferensi konstruktif juga bisa muncul jika perbedaan jarak ada di panjang gelombang 2, atau 0, atau 3, atau sembarang angka yang tersedia pada indikator alat pertama. Dengan arti ini, maka sisi pendek pada segi tiga kecil tidak lagi harus sama dengan  $\lambda$ , tapi  $\lambda$  dikalikan dengan suatu bilangan bulat  $n$ .

Ini artinya, bahwa kondisi untuk interferensi konstruktif pada arah  $v$  secara umum dapat dituliskan sebagai:

$$n\lambda = d\sin(\nu) \quad (1)$$

Sinar cahaya yang bergerak menuju A akan dikenali datang dari suatu titik pada alat pertama. Jarak ke alat pertama disebut dengan  $a$ , dan jarak dari titik tengah ke titik pantul cahaya yang pertama disebut  $s$ . Dengan demikian kita memiliki segi tiga siku-siku sudut kanan yang besar dengan sisi pendeknya adalah  $a$  dan  $s$  yang juga memiliki  $\nu$  sebagai salah satu sudut miringnya.

Maka jelas bahwa:

$$\tan(\nu) = \frac{s}{a} \quad (2)$$

Persamaan ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menemukan  $\nu$ , yang kemudian dapat dimasukkan ke dalam rumus di atas. Tapi karena  $\nu$  pada eksperimen ini terlalu kecil, kita bisa menggunakan perkiraan.

Sebagaimana yang dibahas pada bagian contoh kasus,  $s$  berukuran hanya beberapa sentimeter. Jadi untuk menghitung pada “skenario terburuk”, kita ambil nilai terbesar pada skala alat pertama sepanjang 14 cm. Dengan jarak  $a$  pada 3 meter, kita mendapatkan  $\nu = 2,7^\circ$ .

Dengan kalkulator kita dapatkan  $\tan(2,7^\circ) = 0,047159$ , dan  $\sin(2,7^\circ) = 0,047106$ .

Angka-angka ini hanya berbeda 0,1%. (Hal ini berkaitan dengan pembacaan skala meter pada alat pertama dengan ketelitian sekitar 0,1 mm)

Cobalah hitung misalnya dengan menggunakan sudut  $0,5^\circ$ , perbedaan relatif akan semakin bertambah jika sudut-sudut yang digunakan dalam pengukuran semakin kecil.

Oleh karena itu, sebagai perkiraan terbaik,  $\tan(\nu)$  dapat digantikan dengan  $\sin(\nu)$  dalam rumus. Dengan dengan  $s$  adalah jarak ke titik cahaya deviasi yang pertama,  $n = 1$ , maka akan kita dapatkan:

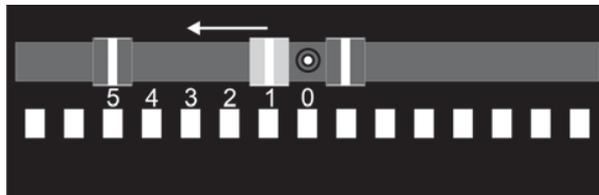
$$\lambda \approx d \frac{s}{a} \quad (3)$$

Yang merupakan persamaan yang telah digunakan mulai dari seksi "Prosedur Pengukuran". Walaupun ini adalah perkiraan, tingkat ketelitiannya masih jauh lebih baik daripada nilai-nilai  $s$  dan  $a$  yang telah diukur.

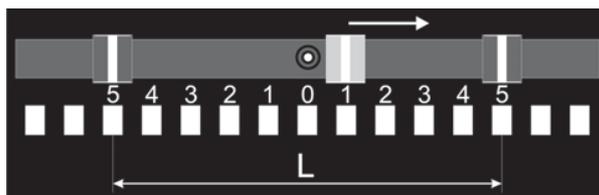
#### IV. PROSEDUR PERCOBAAN

1. Ruang praktikum harus gelap sepenuhnya.
2. Menyambungkan bola lampu dengan catu daya 12 V.
3. Memasang filter warna merah di depan bola lampu.
4. Menetapkan jarak  $a$  dengan menggunakan pita ukur, kemudian mencatat jarak  $a$ .
5. Diperlukan dua orang untuk melakukan pengukuran:

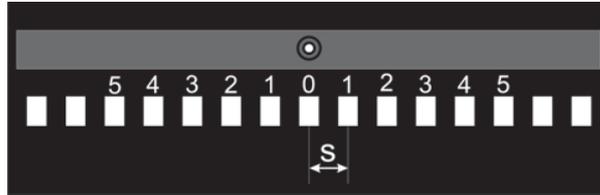
Yang satu mengamati melalui celah ganda (pada alat kedua) lalu mengarahkan asisten, yaitu orang lainnya yang mengoperasikan alat pertama.



6. Awali dengan kedua penanda bergerak ada di titik terdekat dengan posisi tengah penggaris secara berdampingan. Asisten menggerakkan salah satu penanda bergerak secara perlahan ke arah luar. Katakan "stop" pada saat garis pada penanda bergerak tepat berada di atas pertengahan titik cahaya nomor 5. Ulangi untuk sisi yang lainnya.



7. Jarak  $L$  antara kedua penanda bergerak sekarang dapat ditentukan, dan jarak rata-rata  $s$  antara titik-titik cahaya dapat dihitung (dibagi 10).



8. Jarak antara alat pertama dengan celah ganda (alat kedua) disebut dengan  $a$  dan jarak antara kedua celah pada alat kedua disebut dengan  $d$ , yang ditetapkan sebesar 0,1 mm.
9. Ulangi eksperimen menggunakan filter warna biru. Untuk menemukan nilai  $s$  seakurat mungkin, kita perlu meningkatkan nilai  $L$  lebih dari 10 kali nilai  $s$ .
10. Sebagai opsi, filter warna kuning dan hijau juga dapat digunakan.

## V. TUGAS PENDAHULUAN

1. Terangkan dan jelaskan sifat-sifat gelombang di bawah ini:
2. Prinsip difraksi gelombang
3. Prinsip interferensi gelombang
4. Jelaskan hubungan antara besaran- besaran pada gelombang
5. Jelaskan mengenai panjang gelombang cahaya tampak.

## VI. TUGAS AKHIR

1. Menghitung panjang gelombang setiap filter yang diamati

## MODUL 6: ROTATOR HARMONIS

### I. Tujuan Percobaan

1. Menentukan frekuensi resonansi dari suatu osilator.
2. Menentukan gaya luar paksaan.
3. Mengukur redaman suatu getaran paksaan teredam.

### II. Alat-Alat yang Digunakan

1. Pendulum torsi

Sebagai pendulum torsi digunakan suatu piringan kuningan dengan as yang dihubungkan ke per spiral.

2. Motor

Ujung dari per spiral dihubungkan dengan motor yang bergerak harmonis dengan amplitudo yang tetap dan frekuensinya dapat diubah-ubah bila motor dalam keadaan berjalan.

3. Magnet permanen

Dua buah magnet permanen yang diletakkan sedemikian rupa sehingga apabila magnet itu diberi arus akan menimbulkan redaman pada pendulum torsi.

4. Multimeter

Digunakan untuk mengukur tegangan dan arus.

### III. Teori Dasar

Frekuensi ( $f$ ) didefinisikan sebagai jumlah getaran tiap detik. sedangkan waktu untuk menempuh satu getaran penuh disebut sebagai perioda ( $T$ ), sehingga hubungan perioda dengan frekuensi dituliskan dalam Persamaan 1.

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

### 3.1 Getaran Bebas tanpa Hambatan

Jika partikel bergetar di sekitar suatu posisi setimbang, sedangkan gaya pada partikel sebanding dengan jarak partikel dari posisi setimbang, maka partikel tersebut dikatakan melakukan gerak harmonik sederhana. Gaya untuk mengembalikan partikel pada posisi setimbang, disebut gaya balik. Suatu contoh dari osilator harmonik sederhana adalah gerak suatu partikel bermassa yang diikat pada suatu pegas.

Pegas memiliki sifat elastis. Jika ditarik dan kemudian dilepaskan, pegas akan kembali pada panjang semula. Pada percobaan ini digunakan piringan kuningan sebagai partikel yang bergetar harmonis yang disebut rotor. Piringan ini akan tetap bergerak harmonis, karena pusatnya dihubungkan dengan per spiral dan ujung per spiral yang lainnya dihubungkan ke motor yang berputar dengan amplitudo yang dapat diubah-ubah. Persamaan gerak dari rotor ini dimuat dalam Persamaan 2.

$$I \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + D\Phi = 0 \quad (2)$$

dengan :  $\Phi$  = simpangan sudut.

$I$  = momen kelembaman (momen inersia) rotator.

$D$  = konstanta spiral

Persamaan frekuensi diri dari rotator dimuat dalam Persamaan 3.

$$\widehat{\omega}_o = \left[ \frac{D}{I} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

### 3.2 Getaran Bebas Dengan Redaman

Jika tidak ada gesekan, suatu partikel yang bergetar akan terus berosilasi tanpa berhenti. Pada kenyataannya amplitudo osilasi semakin lama semakin berkurang dan akhirnya osilasi akan berhenti, sehingga

dikatakan bahwa osilasi teredam oleh gesekan. Dalam banyak hal, gaya gesekan adalah sebanding dengan kecepatan benda dan mempunyai arah yang berlawanan. Sering diduga bahwa gaya redam ini adalah fungsi linier dari kecepatan seperti dimuat dalam Persamaan (4).

$$\bar{F}_d = a\bar{v} \quad (4)$$

Pada percobaan ini, gaya teredam disebabkan karena kedua buah magnet pada pendulum yang diberi arus. Arus tersebut dinamakan arus Eddy yang menyebabkan timbulnya redaman.

Persamaan gerak suatu rotator yang diredam dimuat dalam Persamaan 5.

$$I \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + R \frac{\partial \Phi}{\partial t} + D\Phi = 0$$

atau

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + 2\beta \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \omega_0^2 \Phi = 0 \quad (5)$$

dengan  $\beta = \frac{R}{2I}$

R = Faktor redaman

Terdapat tiga macam gerak yang teredam, yaitu:

1. Kurang redam ; jika  $\omega^2 > \beta^2$
2. Redaman kritis ; jika  $\omega^2 = \beta^2$
3. Terlampau redam ; jika  $\omega^2 < \beta^2$

Dari ketiga jenis redaman tersebut, yang akan menghasilkan gerak ayunan adalah yang kurang redam ( $\omega^2 > \beta^2$ ). Selisih antara frekuensi diri dengan parameter redaman (dinamakan frekuensi ayunan redaman)

dimuat dalam Persamaan 6.

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2 \quad (6)$$

Bila redaman yang ditimbulkan kecil, maka diperoleh hubungan dalam Persamaan 7.

$$\omega^2 = \omega_0^2 \quad \text{atau} \quad \omega = \omega_0 \quad (7)$$

Terlihat bahwa frekuensi gerak yang teredam akan lebih kecil dari frekuensi gerak tanpa redaman (Persamaan 8)

$$\omega < \omega_0 \quad (8)$$

Daya ayunan redam tidak tetap terhadap waktu. Laju kehilangan daya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan. Daya tersebut secara kontinu diberikan pada medium peredam dan akan hilang menjadi bentuk energi lain. Nilai laju kehilangan daya akan menjadi maksimum apabila partikel mencapai kecepatan maksimumnya saat berada di dekat kedudukan setimbangnya dan akan hilang saat partikel berada pada amplitudo maksimum dengan kecepatan nol.

### 3.3 Getaran dengan Gaya Luar Periodis

Saat piringan atau rotator dihubungkan ke per spiral, dan per spiral dihubungkan ke motor, gaya yang ditimbulkan oleh motor (disebut gaya luar periodis) dimuat dalam Persamaan 9.

$$I \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + R \frac{\partial \Phi}{\partial t} + D \Phi = F_0 \sin(\omega t) \quad (9)$$

Dalam keadaan stasioner, solusi Persamaan 9 adalah:

$$\Phi = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (10)$$

dengan

$$A = \frac{F_0/I}{\left[ (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2 \right]^{1/2}} \quad (11)$$

$$\varphi = \arctan \left[ \frac{2\beta\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \right] \quad (12)$$

Keadaan resonansi dapat terjadi saat  $\omega = \omega_0$  sehingga amplitudo menjadi maksimum. Bila tidak terjadi redaman, maka persamaan gerak osilasi dimuat dalam Persamaan 13.

$$I \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + D\Phi = F_0 \sin(\omega t) \quad (13)$$

dan solusi Persamaan 13 adalah

$\Phi = A \sin(\omega t)$  dengan

$$A = \frac{F_0/I}{\left[ (\omega_0^2 - \omega^2) \right]^{1/2}} \quad (14)$$

#### IV. Prosedur Percobaan

##### 4.1 Menentukan Frekuensi Alamiah

1. Aturlah pendulum secara manual sehingga amplitudo pendulum menunjukkan skala 15.
2. Gerakan pendulum dan catat waktu untuk sepuluh (10) kali getaran.
3. Lakukan prosedur dua (2), minimal 3 (tiga) kali.
4. Ulangi prosedur 1 - 3 untuk amplitudo 14 s/d 5.

##### 4.2 Menentukan Frekuensi Paksaan

1. Tetapkan skala fein motor pada skala 27.
2. Berikan tegangan listrik 24 Volt untuk motor (input bagian atas, output power supply sebelah kanan).
3. Tetapkan selektor grob motor pada skala 6.

4. Ukur dan catat tegangan motor (output bawah) pada skala 6 tersebut.
5. Catat amplitudo maksimum pada skala 6 tersebut, minimal 3 (tiga) kali.
6. Ulangi prosedur 2 s/d 5 untuk skala berikutnya, sampai dengan skala 26.

#### **4.3 Menentukan Frekuensi Redaman**

1. Masukkan arus pada kumparan dari Power Suply (output sebelah kiri).
2. Aturlah Slektor Power Suplay hingga arus yang masuk pada kumparan sebesar 0,1 A.
3. Secara manual tentukan amplitudo pada skala 15 sebagai amplitudo awal  $A_0$ .
4. Gerakan pendulum, catat amplitudo  $A_1$  setelah pendulum mencapai satu perioda.
5. Catat amplitudo pada saat 2 perioda, 3 perioda dan seterusnya hingga amplitudo yang masih dapat diamati!
6. Ulangi prosedur 3 s/d 5 untuk variasi arus 0,2 s/d 1 A.

#### **4.4 Menentukan Frekuensi Paksaan Dan Redaman**

1. Masukkan arus pada kumparan dari Power Suplay (output bagian kiri).
2. Masukkan tegangan pada motor dari Power Suplay (output sebelah kanan).
3. Pada arus kumparan 0,2 A, lakukan prosedur seperti pada penentuan frekuensi paksaan.
4. Ulangi prosedur 3 untuk arus 0,4; 0,6; 0,8 dan 1,0 A.

#### **V. Tugas Pendahuluan**

1. Tentukan solusi Persamaan (2), (5), (9) dan (13).
2. Turunkan persamaan (3), (11), (12) dan (14).

## **VI. Tugas Akhir**

### **6.1 Frekuensi Alamiah**

1. Hitung momen inersia pendulum.
2. Berdasarkan data yang diperoleh dari prosedur 4.1, hitung frekuensi alamiah terbaik beserta sesatannya.
3. Hitung konstanta pegas dan sesatannya.

### **6.2 Frekuensi Paksaan**

1. Plot grafik hubungan amplitudo terhadap frekuensi.
2. Plot grafik hubungan frekuensi terhadap tegangan.
3. Hitung nilai gaya luar.
4. Hitung nilai sudut fase.
5. Buatlah analisis grafik no. 1 dan 2.

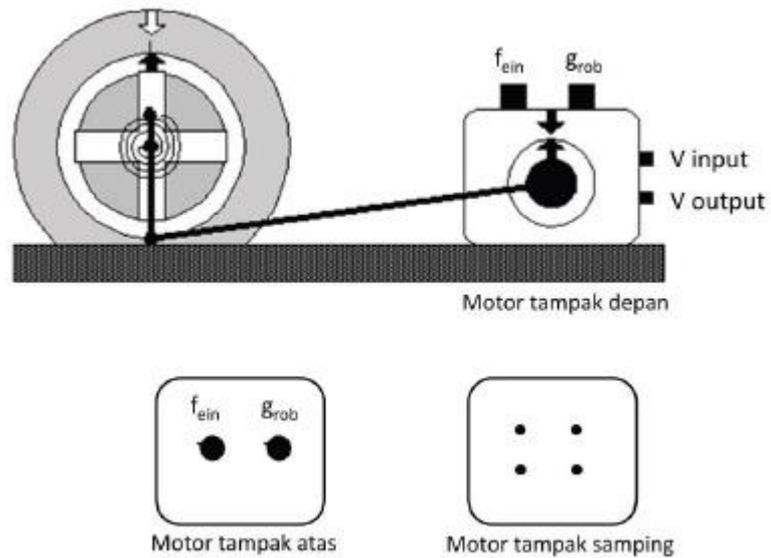
### **6.3 Frekuensi Redaman**

1. Plot grafik hubungan waktu terhadap amplitudo, dan tentukan persamaan grafiknya.
2. Berdasarkan grafik no.1 hitung parameter redaman  $p$  dan hitung faktor redaman  $R$  untuk masing-masing arus yang diberikan.
3. Plot grafik hubungan parameter redam  $p$  terhadap arus  $I$ .
4. Analisa grafik yang telah dibuat.

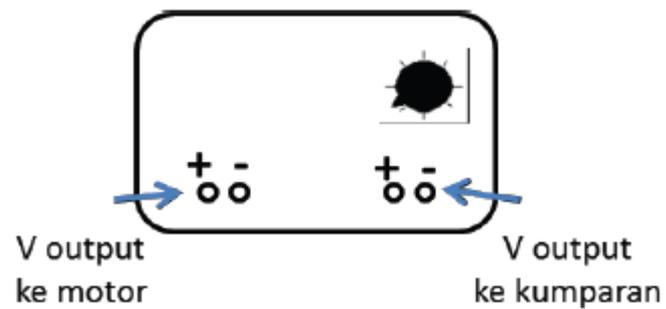
### **6.4 Frekuensi Redaman dan Paksaan**

1. Plot grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo untuk setiap arus yang diberikan.
2. Plot grafik hubungan amplitudo maksimum terhadap arus.
3. Hitung besarnya gaya luar.
4. Hitung besarnya sudut fase.
5. Analisa grafik no. 1 dan 2 yang telah dibuat.

## LAMPIRAN: ROTATOR HARMONIS



**Gambar 1.** Rotator harmonis



**Gambar 2.** Power supply

### Data Rotator

Massa rotator =  $(244.400 \pm 0.005)$

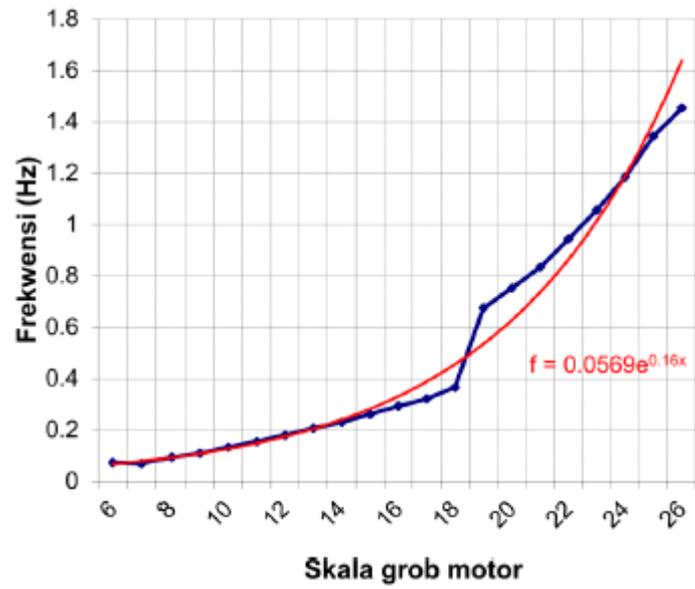
gram

Diameter=  $(19.00 \pm 0.05)$  cm

**Tabel 1.** Hubungan frekuensi dengan skala grob

Skala grob	Perioda T(s)	Frekuensi f(Hz)
6	13.522222	0.073952342
7	14.346667	0.069702602
8	10.68	0.093632959
9	9.18	0.108932462
10	7.5066667	0.13321492
11	6.4666667	0.154639175
12	5.5733333	0.179425837
13	4.8266667	0.20718232
14	4.3533333	0.229709035
15	3.8266667	0.261324042
16	3.4066667	0.293542074
17	3.1133333	0.321199143
18	2.7333333	0.365853659
19	1.482	0.674763833
20	1.328	0.753012048
21	1.2	0.833333333
22	1.06	0.943396226
23	0.946	1.057082452
24	0.844	1.184834123
25	0.744	1.344086022
26	0.688	1.453488372

### Hubungan frekwensi terhadap skala motor



Gambar 3 Hubungan frekuensi dengan skala grob

## MODUL 7: DIFRAKSI CELAH DAN KISI GANDA

### Topik Terkait

Prinsip Huygens, interferensi, difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel, koherensi, laser.

### Prinsip Dasar

Celah ganda yang memiliki lebar dan jarak celah yang sama satu sama lain maupun kisi transmisi ganda dengan konstanta kisi yang berbeda diletakkan di depan sinar laser. Pola difraksi yang terbentuk menurut posisi dan intensitasnya diukur dengan menggunakan foto dioda yang dapat digeserkan.

### I. Tujuan Percobaan

1. Menentukan pola dan intensitas difraksi dari celah dan kisi ganda
2. Menentukan posisi intensitas minimum pertama yang berhubungan dengan celah tunggal. Harga intensitas minimum pertama tersebut digunakan untuk menghitung lebar dari celah.
3. Menentukan distribusi intensitas pola difraksi dari celah kelipatan tiga, kelipatan empat dan kelipatan lima, dimana seluruh celah memiliki lebar dan jarak antar celah yang sama. Selanjutnya menaksir hubungan intensitas dari puncak pusat difraksi.
4. Menentukan posisi dari puncak beberapa orde dari difraksi untuk kisi transmisi dengan konstanta kisi yang berbeda. Selanjutnya menggunakan nilai yang diperoleh untuk menghitung panjang gelombang dari laser.

### II. Alat-alat yang Digunakan

1. He-Ne Laser, 1.0 mW, 220V AC
2. Amplifier pengukur universal (universal measuring amplifier)
3. Dudukan optik (optical profile bench)  $l = 60$  cm
4. Base f. opt. profile-bench, adjust.

5. Slide dengan pengatur ketinggian f optik (slide mount f. opt. pr.-bench) h 80 mm
6. Slide mount, lateral. adjust., cal.
7. Pemegang lensa (lens holder) dan pemegang objek (object holder) 535 cm
8. Lensa f +20 mm, lensa f+100 mm
9. Fotoelemen, f. opt. base plt.
10. Diafragma, 3 celah tunggal; 4 celah ganda
11. Grating difraksi 4 garis/mm; 8 garis/mm, 10 garis/mm, 50 garis/mm
12. Multi-range meter A 07028.01 1
13. Karbon resistor PEK 1 W 5 % 2.2 kOhm
14. Kabel koneksi 750 mm, merah dan biru

### III. Teori Dasar

Jika cahaya monokromatik dengan panjang gelombang  $\lambda$  mempengaruhi suatu sistem celah paralel dengan jarak antar celah yang sama, intensitas cahaya ( $I$ ) dari berkas yang dibelokkan oleh sebuah sudut  $w$ , memiliki hubungan seperti Persamaan 1.

$$\frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot b \sin\varphi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot b \sin\varphi\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{p\pi}{\lambda} \cdot g \sin\varphi\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot g \sin\varphi\right)} \quad I(\varphi) \propto b^2 \quad (1)$$

( $b$  = width of slit;  $g$  = distance between slits;  $p$  = number of slits)

Menurut Fraunhofer, minimum dan puncak dari celah tunggal dinamakan interferensi pertama, dimana interaksi dari sejumlah celah menghasilkan interferensi kedua.

Pengamatan hanya pada celah tunggal (faktor pertama), yang menghasilkan sebuah intensitas minimum saat alat penghitung menjadi nol. Dalam kasus ini, berlaku hubungan dalam Persamaan 2.

$$\sin\varphi_k = \frac{k \cdot \lambda}{b} ; (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

Posisi angular dari puncak interferensi pertama dapat didekati dengan Persamaan 3.

$$\sin \varphi_k^* = \frac{2k^* + 1}{2} \cdot \frac{\lambda}{b}; (k^* = 1, 2, 3, \dots)$$

Jika beberapa celah berlaku bersamaan, puncak minimum dari celah tunggal tetap ada. Tambahan dari puncak difraksi minimum kedua muncul saat faktor kedua juga menjadi nol. Untuk celah ganda ( $p = 2$ ), titik nol dapat dengan mudah dihitung dengan menggunakan transformasi sederhana dari faktor kedua. Maka Persamaan 1 menghasilkan:

$$4 \cos^2 \left( \frac{\pi}{\lambda} \cdot g \sin \varphi \right)$$

Ungkapan di atas menjadi nol untuk

$$\sin \varphi_h = \frac{2h+1}{2} \cdot \frac{\lambda}{g}; (h = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Untuk intensitas ( $I$ ) dari puncak utama interferensi kedua berlaku:

$$I \propto P^2 \tag{6}$$

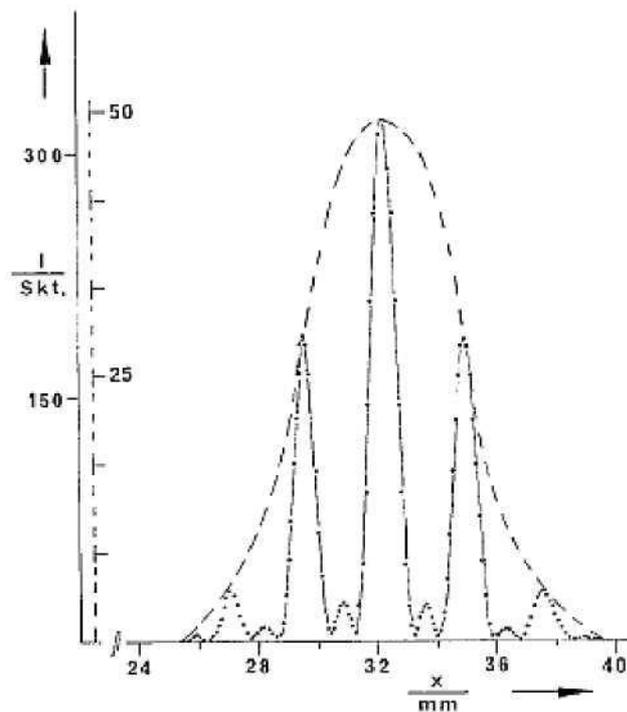
Puncak utama interferensi kedua menjadi lebih jelas dengan naiknya jumlah celah. Masih terdapat ( $p - 2$ ) puncak difraksi sekunder kedua antara puncak- puncak utama.

Saat cahaya terdifraksi menembus kisi transmisi dengan konstanta kisi konstan  $g$ , sudut difraksi  $w$  dari puncak utama memenuhi hubungan:

$$\sin \varphi_k = \frac{k\lambda}{g}; (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

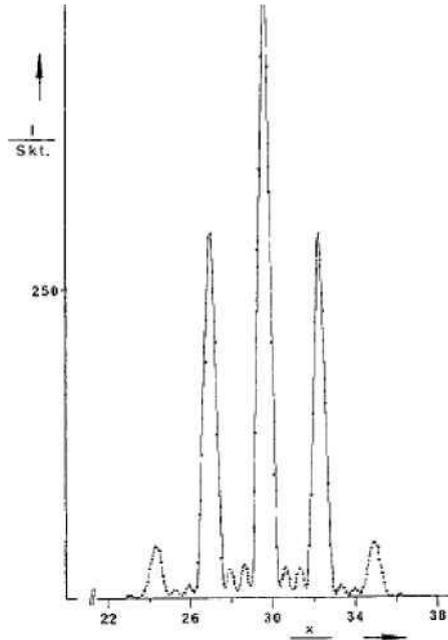
Gambar 1. memperlihatkan intensitas difraksi  $I$  untuk suatu celah kelipatan tiga sebagai fungsi posisi  $x$  dari fotosel (jarak antar objek difraksi dan fotosel;  $L = 107$  cm). Sebagai perbandingan, pola difraksi dari celah tunggal dibentuk sebagai envelope, dengan sebuah skala

ordinat yang sesuai. Minimum dari celah tunggal juga tetap hadir yang berhubungan dengan celah ganda. Untuk itu, dari ungkapan 2 didapatkan  $d = 0.095$  mm dengan jarak  $2 \cdot Ax = 14$  mm antara dua minimum interdfferensi pertama ( $\sin w < \tan w$ ,  $L = 107$  cm,  $\lambda = 632.8$  nm). Jumlah dari puncak interferensi kedua sekunder dari celah kelipatan tiga adalah  $(p - 2) = 1$ .



**Gambar 1.** Intensitas difraksi ( $I$ ) sebagai fungsi dari posisi  $x$  untuk celah

kelipatan tiga,  $b_1 = 0,1$  mm dan  $g = 0,25$  mm. Jarak antara celah kelipatan tiga dengan fotosel:  $L = 107$  cm. Untuk perbandingan, distribusi intensitas dari celah pertama,  $b = 0,1$  mm, dimasukkan sebagai garis yang diberi titik



**Gambar 2.** Intensitas difraksi I sebagai fungsi dari posisi x untuk celah kelipatan empat dengan  $b_1 = 0,1$  mm dan  $g = 0,25$  mm

Gambar 2 memperlihatkan difraksi dari celah kelipatan empat. Dalam kasus ini, jumlah puncak interferensi kedua adalah  $(p - 2) = 2$ . Dengan cara yang sama, difraksi yang melewati celah kelipatan lima (tidak ada gambar) menghasilkan interferensi kedua sekunder.

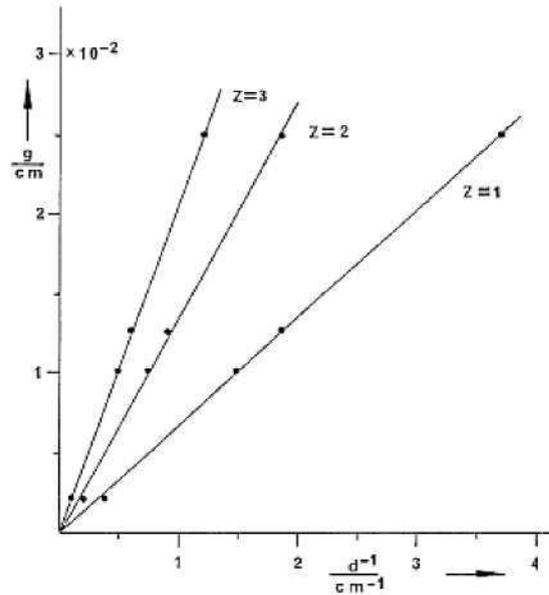
**Tabel 1** memberikan nilai intensitas dari pusat puncak difraksi dari objek  $p = 3$  sampai  $p = 5$ , maupun nilai relatif yang dinyatakan secara empirik berdasarkan ungkapan 6.

Table 1

	exp.	theor.
$I_{05}$ ( $p=5$ ) = 720 Skt.		
$I_{04}$ ( $p=4$ ) = 500 Skt.	$I_{05} / I_{04} = 1.44$	$(5/4)^2 = 1.56$
$I_{03}$ ( $p=3$ ) = 300 Skt.	$I_{05} / I_{03} = 2.40$	$(5/3)^2 = 2.78$

Gambar 3 memperlihatkan puncak difraksi dari 4 kisi transmisi berbeda yang diukur sampai orde ke tiga ( $K = 3$ ) sebagai fungsi dari konstanta kisi  $g$ . Dengan ungkapan 7, Gambar 3 menghasilkan nilai rata-rata panjang gelombang sinar

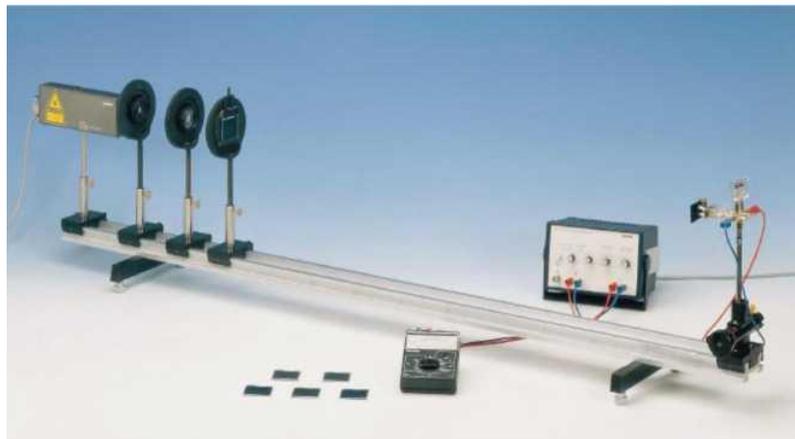
laser yang digunakan  $\lambda = 635 \text{ nm}$ .



**Gambar 3.** Jarak resiprokal dari puncak-puncak difraksi sampai difraksi orde ke tiga ( $K = 3$ ) sebagai fungsi dari konstanta kisi

#### IV. Prosedur Percobaan

1. Susun alat percobaan seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Seting Alat untuk Menentukan Intensitas Difraksi dari Celah dan Kisi Ganda (Posisi dari komponen pada dudukan optik adalah: laser = 2,5 cm; lensa  $f/20 \text{ mm} = 14,5 \text{ cm}$ , lensa  $f/100 \text{ mm} = 27,5 \text{ mm}$ ; objek difraksi = 33 cm; slide mount lateral adjustm., calibr. = 147,5 cm).

2. Nyalakan laser. Dengan bantuan lensa  $f = +20$  mm dan  $f = +100$  mm, atur sinar laser yang lebar dan sejajar agar jatuh tepat di pusat fotosel dengan gap celah. Tempatkan fotosel kira-kira di tengah-tengah jarak pergeseran. Pasang objek difraksi di pemegang objek. Pastikan objek dari difraksi yang diselidiki vertikal di dalam pemegang objek dan sinar laser uniform.

**Perhatian: Jangan sekali-kali melihat langsung pada sinar laser yang tidak teratenuasi**

Laser dan amplifier pengukur harus dinyalakan 15 menit sebelum memulai pengukuran untuk menghindari fluktuasi intensitas yang tidak diinginkan.

3. Hubungkan fotosel dengan input  $10^4 Q$  dari amplifier pengukur (faktor perbesaran  $10^3-10^5$ ). Hubungkan resistor 2,2 k $\Omega$  parallel dengan fotosel. Saat faktor amplifikasi diubah, titik nol dari amplifier pengukur harus diperiksa dimana fotosel ditutup, koreksi jika diperlukan.
4. Tentukan harga intensitas difraksi untuk celah ganda dengan menggeser fotosel sejauh 0,1 mm - 0,2 mm.
5. Tentukan posisi puncak difraksi untuk kisi transmisi, kemudian hitung panjang gelombang sinar laser yang digunakan. Untuk kisi transmisi 50 garis/mm, puncak sekunder berada di luar jangkauan pergeseran dari fotosel, oleh karena itu dalam kasus ini posisi dari difraksi yang refleksi harus ditandai pada selembar kertas dan jaraknya diukur dengan menggunakan mistar.

## V. Tugas Pendahuluan

Jelaskan dengan singkat prinsip Huygens, interferensi, difraksi Fraunhofer, difraksi Fresnel, koherensi dan laser.

## VI. Tugas Akhir

1. Buatlah grafik hubungan intensitas difraksi  $I$  sebagai fungsi dari posisi  $x$  untuk celah dengan kelipatan  $n$ .
2. Buatlah grafik hubungan jarak puncak-puncak difraksi sampai orde ke tiga (K3) sebagai fungsi dari konstanta kisi. Dengan menggunakan ungkapan 7, tentukan nilai rata-rata panjang gelombang sinar laser yang digunakan.
3. Tentukan nilai intensitas dari pusat puncak difraksi dari objek  $p = \dots$  sampai  $p = \dots$ , maupun nilai relatif yang dinyatakan secara empirik berdasarkan ungkapan 6

## MODUL 8: OSILOSKOP

### Topik Terkait

Bentuk gelombang, interferensi, resonansi, dan redaman

#### I. Tujuan Percobaan

1. Mempelajari cara kerja osiloskop dan pemakaiannya sebagai alat yang digunakan untuk:
2. Menentukan besar tegangan power supply.
3. Menghitung frekuensi power supply.
4. Mengetahui beda sudut fase sinyal input dan output pada rangkaian RC.
5. Menghitung frekuensi resonansi pada rangkaian RLC.
6. Mengetahui sejauh mana pengaruh resistor terhadap peredaman tegangan pada rangkaian RLC.

#### II. Alat-alat yang Digunakan

1. Osiloskop
2. Power supply
3. Frekuensi Counter
4. Rangkaian RC
5. Induktor (1,4 H dan 1,7 H)
6. Variabel resistor (Rbox)

#### III. Teori Dasar

Osiloskop merupakan alat ukur yang dipakai untuk mengamati sinyal yang masuk ke sistem osiloskop. Osiloskop memberikan informasi mengenai amplitudo sinyal pada rangkaian listrik dan perioda, jika sinyal tersebut merupakan sinyal sinusoidal. Bahkan osiloskop dapat memberikan informasi mengenai beda sudut fase dari dua buah sinyal. Dengan menggunakan metode Lissajous, osiloskop dapat digunakan

untuk mengetahui frekuensi sinyal yang belum diketahui, jika salah satu dari dua sinyal yang masuk ke osiloskop telah diketahui frekuensinya.

Dalam metode lissayous, jika dua buah sinyal dimasukkan ke input X dan input Y, dengan :

$$X = A \sin(\omega_1 t) \quad \text{dan} \quad Y = B \sin(\omega_2 t + \phi) \quad (1)$$

dan berlaku Persamaan 1

$$m\omega_1 = n\omega_2$$

sehingga pada osiloskop akan tampak gambar lissayous. Persamaan 1 dapat ditulis dalam Persamaan 2.

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n}{m} \quad (2)$$

dengan :

$f_1$  adalah frekuensi sinyal yang masuk ke input X

$f_2$  adalah frekuensi sinyal yang masuk ke input Y

$m$  adalah jumlah loop pada arah vertikal

$n$  adalah jumlah loop pada arah horizontal

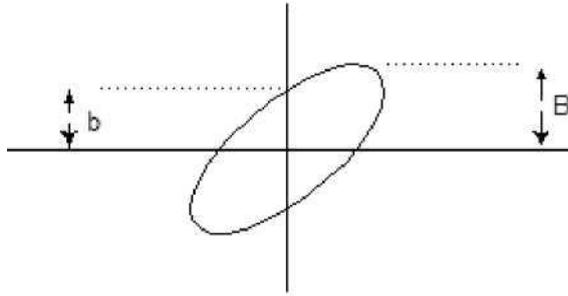
jika pada Persamaan 1,  $\omega_2 = \omega_1$  maka diperoleh Persamaan 3.

$$\frac{X^2}{A^2} + \frac{Y^2}{B^2} - \left( \frac{2XY}{AB} \right) \cos \phi = \sin^2 \phi \quad (3)$$

yang menggambarkan suatu persamaan ellips. Untuk gambar ellips berlaku Persamaan 4.

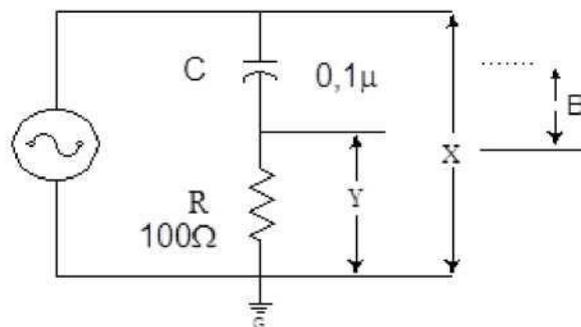
$$\sin \phi = \frac{b}{B} \quad (4)$$

dengan  $b$  dan  $B$  dijelaskan seperti terlihat dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Menentukan beda sudut fase

Dalam sebuah rangkaian RL, RC atau RLC apabila terjadi arus listrik bolak-balik yang masuk pada rangkaian tersebut, maka output dari rangkaian tersebut akan mengalami pergeseran sudut fase terhadap inputnya. Untuk rangkaian RC seperti terlihat dalam Gambar. 2, beda sudut fase dapat dinyatakan dalam Persamaan 5.



**Gambar 2.** Rangkaian RC

$$\tan\Phi = \frac{1}{\omega RC} \quad (5)$$

Pada rangkaian RL, beda sudut fase dapat dinyatakan dalam Persamaan 6.

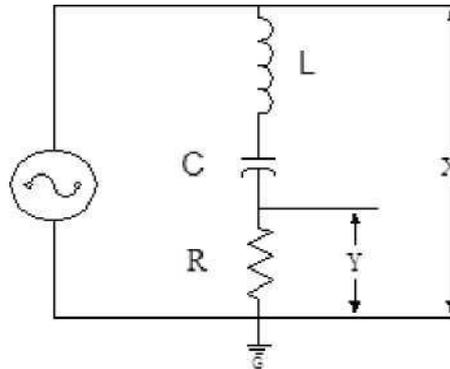
$$\tan\Phi = \frac{\omega L}{R} \quad (6)$$

Dalam suatu rangkaian seri RLC (Gambar 3) dikatakan dalam keadaan resonansi bila impedansi totalnya adalah real. Keadaan real ini dapat dicapai apabila:

1. Frekuensi sumber yang kita berikan adalah seperti dimuat dalam Persamaan 7.

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (7)$$

2. Beda sudut fase antara arus yang melalui rangkaian dan sumber adalah nol.



**Gambar 3.** Rangkaian seri RLC

Dalam rangkaian RLC berlaku Persamaan 8.

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0 \quad (8)$$

bila  $R < 2 \sqrt{L/C}$ , maka solusi Persamaan 8 adalah dimuat dalam Persamaan 9.

$$q = q_0 e^{-\frac{Rt}{2L}} \cos(\omega t + \phi) \quad (9)$$

dengan  $\omega^2 = \omega_r^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2$

$q_0 \phi$  adalah konstanta-konstanta yang bergantung pada keadaan awal.

Tegangan pada kapasitor berbanding lurus dengan muatan, sehingga dapat hubungan tegangan dengan muatan dapat dinyatakan dalam Persamaan 10.

$$V = V_0 e^{-\frac{Rt}{2L}} \cos(\omega t + \phi) \quad (10)$$

dengan mendefinisikan log Decrement ( $\Lambda$ ) sebagai perbandingan logaritma alamiah antara dua amplitudo yang berdekatan, maka dapat

Persamaan log decrement dapat diturunkan menjadi Persamaan 11.

$$\Lambda = \frac{\pi R}{\omega L} \quad (11)$$

Bila  $R = 2(L/C)^{1/2}$ , disebut keadaan kritis di mana  $q$  atau  $V$  akan menurun secara eksponensial terhadap waktu. Demikian juga bila  $R > 2(L/C)^{1/2}$ , yang disebut keadaan teredam tinggi dimana  $q$  atau  $V$  menurun secara eksponensial tetapi lebih lambat dari keadaan kritis.

#### **IV. Prosedur Percobaan**

##### **4.1 Mempelajari Tombol Kontrol Osiloskop**

1. Hubungkan osilator dengan sumber gelombang menggunakan kabel BNC. Nyalakan osiloskop dan osilator. Pada layar osilator akan terlihat gelombang sinus.
2. Mainkan berbagai kontrol dan jawablah pertanyaan di bawah ini:
  - a. Apa yang terjadi jika anda memutar kontrol INTENT?
  - b. Apa yang terjadi jika anda memutar kontrol FOCUS?
  - c. Bagaimana cara mengatur posisi VERTICAL dan HORIZONTAL?
  - d. Apa yang terjadi jika anda mengubah kontrol TIME/V?
  - e. Apa yang terjadi jika anda mengubah kontrol AMPL/DIV?
  - f. Apa yang terjadi jika posisi AC-GND-DC diswitch pada posisi tepat ditengah?
  - g. Apa yang terjadi jika anda memindahkan kontrol level trig?
  - h. Apa yang terjadi jika slope switch diputar?
  - i. Mengapa dalam osiloskop ada dua kontrol AMPL/DIV?

##### **4.2 Kalibrasi Osiloskop**

Mintalah bantuan Asisten bila tidak mengerti cara mengkalibrasi osiloskop

##### **4.3 Mengukur Tegangan dan Frekuensi**

1. Jadikan salah satu dari output trafo sebagai ground, dan yang lainnya sebagai masa.

2. Ambil sinyal pada output 4 volt dengan input A atau input B pada osiloskop.
3. Atur AMPL/DIV dan TIME/DIV, sehingga sinyal pada layar dapat diamati dengan jelas.
4. Catat amplitudo dan perioda sinyal tersebut.
5. Ulangi langkah 2 sampai 4 minimal 5 kali.
6. Ukur output trafo tersebut dengan voltmeter (minimal 5 kali)
7. Lakukan langkah percobaan 2 sampai 6 untuk output trafo 6V, 10V dan 20 V.

#### **4.4 Menentukan Frekuensi dengan Lissayous**

1. Masukkan sinyal input 4 V dari output trafo ke input A dan sinyal (2V atau 4V) dari generator ke input B
2. Tempatkan selektor TIME/DIV pada posisi X-DEFL
3. Atur frekuensi generator hingga terbentuk gambar lissayous dengan  $n/m = 1$  .
4. Catat frekuensi generator tersebut
5. Lakukan percobaan 3 dan 4 untuk  $n/m = 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 2, 3, 4,$  dan 5

#### **4.5 Mengukur Beda Sudut Fasa Input dan Output**

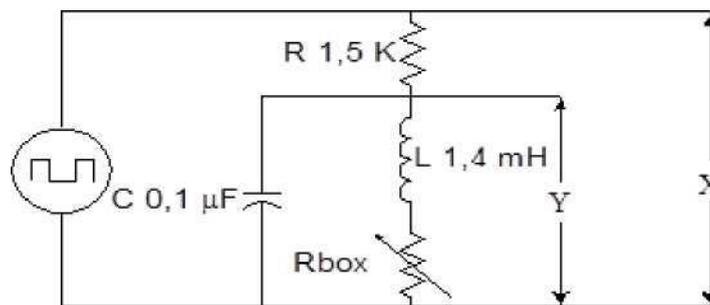
1. Susun rangkaian seperti pada Gambar 2
2. Masukkan sinyal input (150 Hz, 5V) dari sinyal generator
3. Masukkan sinyal input rangkaian ke input A dan output rangkaian ke input B
4. Tempatkan selektor TIME/DIV pada posisi X-DEFL.
5. Tentukan nilai b dan B dari gambar ellips yang terbentuk untuk masing- masing sinyal A (input) dan sinyal B (output) (lihat Gambar 1).
6. Lakukan percobaan 2 s/d 5 untuk frekuensi 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 dan 1000 Hz.

#### 4.6 Resonansi Listrik

1. Susun rangkaian seperti pada Gambar. 3
2. Masukkan sinyal input pada rangkaian (3 KHz, 5V) sinyal input dari generator
3. Masukkan sinyal input pada rangkaian ke input A dan sinyal output rangkaian ke input B.
4. Tempatkan selektor TIME/DIV pada posisi X-DEFL.
5. Tentukan nilai b dan B dari gambar ellips yang terbentuk untuk sinyal input dan output.
6. Lakukan langkah 2 sampai 5 untuk frekuensi 3,5 KHz s/d 10 KHz, dengan kenaikan 0,5 KHz.

#### 4.7 Tahanan Sebagai Peredam

1. Susun rangkaian seperti pada Gambar 4



**Gambar 4.** Tahanan sebagai peredam

2. Masukkan sinyal persegi dari sinyal generator pada rangkaian tersebut
3. Tentukan posisi selektor Rbox pada posisi nol
4. Masukkan sinyal input rangkaian pada input A dan output rangkaian pada input B
5. Aturilah tegangan dan frekuensi sinyal input sehingga diperoleh sinyal output yang dapat diamati. Catat tegangan dan frekuensinya.
6. Ukurlah amplitudo  $V_0$  pada saat  $t = 0$  s, kemudian  $V_1$  untuk  $t = T$ ,

V2 untuk  $t = 2T$ , V3 untuk  $t = 3T$  dan seterusnya hingga amplitudo yang masih dapat diamati.

7. Lakukan percobaan 4 s/d 7 untuk Rbox 100, 250 dan 500  $\Omega$ .

## **V. Tugas Pendahuluan**

1. Jelas dengan singkat karakteristik dari rangkaian RL, RC dan RLC.
2. Turunkan semua persamaan yang terdapat pada modul ini, termasuk persamaan diferensial untuk setiap rangkaian dan solusinya.

## **VI. Tugas Akhir**

### **6.1 Menghitung Tegangan dan Frekuensi**

1. Hitung tegangan dan frekuensi terbaik dengan sesatannya dari sinyal generator.
2. Hitung frekuensi terbaik dan sesatannya sinyal generator berdasarkan gambar lissayous.
3. Bandingkan frekuensi terbaik sinyal generator hasil no. 1 dan 2.

### **6.2 Menghitung Beda Sudut Fase**

1. Hitung sudut fase untuk sinyal input dan sinyal output untuk masing- masing frekuensi berdasarkan hasil pengamatan. Hitung beda sudut fasenya untuk setiap frekuensi.
2. Hitung Beda sudut fase untuk masing-masing frekuensi dengan menggunakan persamaan (5).
3. Bandingkan hasil no. 1 dan 2! Hitung kesalahan relatifnya

### **6.3 Menghitung Frekuensi Resonansi**

1. Hitung sudut fase sinyal input dan output untuk masing-masing frekuensi. Kemudian hitung beda sudut fasenya
2. Buat grafik beda sudut fase terhadap frekuensi dengan memplotkan hasil pengamatan pada saat mengukur frekuensi resonansi.
3. Tentukan frekuensi resonansi dari grafik beda fase terhadap

frekuensi.

4. Hitung frekuensi resonansi dengan persamaan (7).
5. Bandingkan frekuensi resonansi dari grafik dengan perhitungan. Hitung kesalahan relatifnya.

#### 6.4 Tahanan Sebagai Peredam

1. Buat grafik antara tegangan terhadap waktu dari hasil pengamatan untuk masing-masing harga Rbox.
2. Apa analisis anda terhadap Grafik No. 1.
3. Dekati grafik tersebut dengan grafik eksponensial, tentukan persamaan grafik tersebut.
4. Analogikan persamaan grafik tersebut dengan persamaan (10) untuk nilai  $\cos(\omega t + \phi) = 1$
5. Berapa tegangan awal dan besarnya tahanan sebenarnya untuk masing- masing harga Rbox ?. Bandingkan dengan masing-masing harga Rbox tersebut .
6. Hitung besarnya  $\sqrt{L/C}$
7. Dengan membandingkan harga R dengan hasil no.6, tentukan mana yang keadaanya kurang redam, kritis dan teredam tinggi dari masing- masing harga Rbox.
8. Hitung log Decrement untuk masing-masing harga Rbox.

## MODUL 9: DISPERSI DAN DAYA PEMECAH PRISMA

### Topik Terkait

Hubungan Mexwell, dispersi, polarisabilitas, indeks bias, prisma, grating Rowland, spektrometer-goneometer

### Prinsip dan Uraian Kerja

Refraktif indek dari suatu cairan, gelas crown dan gelas flint dinyatakan sebagai fungsi dari panjang gelombang cahaya refraksi yang melewati prisma dari deviasi minimum. Analisa daya prisma dari prisma gelas dinyatakan dari kurva dispersi.

### I. Tujuan Percobaan

1. Mempelajari cara kerja spektrometer-goniometer.
2. Menentukan indek bias dari berbagai cairan dalam prisma berrongga.
3. Menentukan indeks bias berbagai prisma gelas
4. Menentukan garis spektrum air raksa (mercuri)
5. Menunjukkan hubungan antara indeks bias dengan panjang gelombang (kurva dispersi)
6. Menghitung daya pemecah prisma gelas dari kemiringan kurva dispersi

### II. Alat-alat yang Digunakan

1. Spektrometer/gonim. w. vernier
2. Pemegang lampu, pico 9, f. spectr.lamps
3. Lampu Hg Spektral 100, pico 9 base
4. Power supply untuk spectral lamps
5. Prisma, 60 derajat, h 30 mm, crown
6. Prisma berongga
7. Diffraksi grating, 600 garis/mm
8. Glycerol 250 ml
9. Methanol 500 ml

10. Cyclohexene for synth. 500 ml
11. Wash bottle, plastic 250 ml
12. Bench clamp, -PASS-
13. Stand tube

### III. Teori Dasar

Indek bias dari suatu medium dihubungkan dengan permitivitas relatif oleh hubungan Maxwell dalam Persamaan 1

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (1)$$

Sebagian besar zat memiliki permeabilititas relatif:

$$\mu_r = 1$$

Berdasarkan pada Clausius dan Mossotti, hubungan antara permitivitas relatif dan polarisabilitas dari medium dinyatakan dalam Persamaan 2.

$$\alpha = \frac{3 \epsilon_0}{N} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \quad (2)$$

dengan **N** adalah konsentrasi molekul yang dapat dipolarisasi dan **So** adalah konstanta medan listrik. Polarisabilitas bergantung pada frekuensi ( $w = 2\pi\nu$ ) dari sinar datang. Untuk frekuensi alamiah,  $w_0 = 2\pi\nu_0$ , sehingga Persamaan 2 dapat didekati dengan Persamaan 3.

$$\alpha = \frac{e^2}{m} \cdot \frac{1}{w_0^2 - w^2} \quad (3)$$

dengan **e** adalah muatan elementer dan **m** adalah massa elektron.

Bila Persamaan 1 dan Persamaan 3 disubstitusi dalam Persamaan 2, diperoleh Persamaan 4.

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{e^2 \cdot N}{3 \epsilon_0 m} \frac{1}{w_0^2 - w^2} \quad (4)$$

Meskipun Persamaan 4 hanya berlaku untuk frekuensi alamiah yang dihitung,

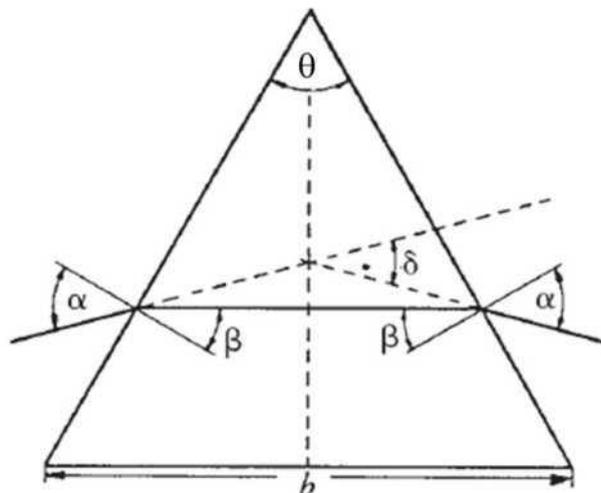
formula ini mampu menggambarkan penurunan indeks bias dengan kenaikan panjang gelombang diluar jangkauan frekuensi alamiah. Panjang gelombang garis spektrum dinyatakan dengan grating difraksi yang ditempatkan dalam lintasan sinar sebaliknya dari prisma. Saat pola difraksi orde pertama muncul, berlaku hubungan antara panjang gelombang  $\lambda$ , konstanta grating  $G$  dan sudut  $\phi$ .

$$\lambda = G \sin \phi$$

$\lambda$  ditentukan dari rata-rata hasil pengukuran.

$\lambda$ merah	627,3
$\lambda$	579,8
$\lambda$ hijau	547,7
$\lambda$ birula	493,9
$\lambda$ biru	438,5
$\lambda$ ungu	405,1

Jika seberkas sinar melewati prisma dengan simetris (**Gambar 1**), terjadilah deviasi minimum  $\delta$ .



**Gambar 1.** Pemantulan oleh prisma saat lintasan sinar simetris

Jika  $\alpha$  adalah sudut datang,  $\beta$  adalah sudut pantul dan  $\theta$  adalah sudut prisma, berlaku hubungan dalam Persamaan 5 dan Persamaan 6.

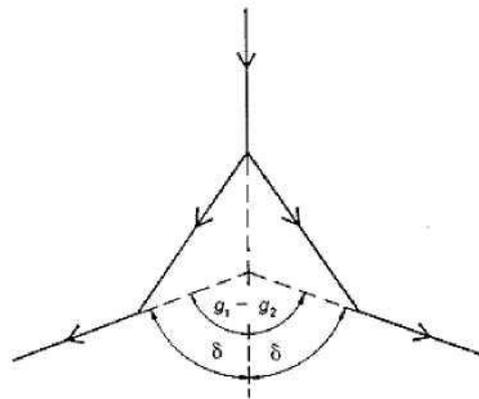
$$\sin \alpha = n \sin \beta \tag{5}$$

$$\beta = \frac{\theta}{2} \text{ dan } \delta = 2\alpha - \theta \tag{6}$$

Dari hubungan tersebut diperoleh hubungan Persamaan 7.

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} \quad (7)$$

Sudut deviasi minimum dapat ditentukan dengan bantuan ilustrasi **Gambar 2**.



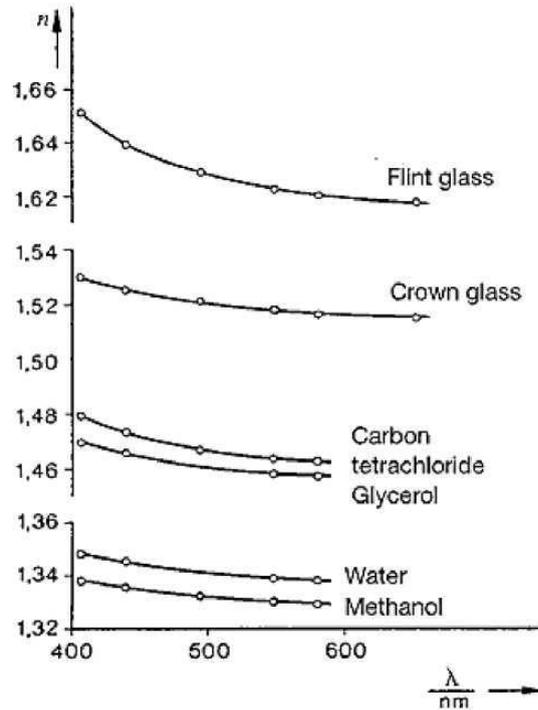
**Gambar 2.** Pengukuran sudut deviasi minimum

Sudut deviasi minimum diperoleh dari perbedaan antara sudut  $\varphi_1$  dan sudut  $\varphi_2$  yang diukur pada dua posisi prisma yang berbeda.

$$\delta = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}$$

Kurva dispersi dinyatakan dari sudut yang diukur untuk berbagai garis spektrum air raksa (merkuri). Kurva dispersi untuk berbagai bahan dimuat dalam Gambar 3.

Unjuk kerja spektrometer dikarakterisasi dengan daya pemecah (*resolving power*) nya. Dua panjang gelombang  $\lambda$  dan  $\lambda + d\lambda$  masih sebagai garis spektrum yang terpisah bila maksimum utama dari garis  $\lambda + d\lambda$  terjadi bersamaan dengan minimum dari garis  $\lambda$ .



**Gambar 3.** Kurva dispersi berbagai bahan

Daya pemecah prisma (**R**) secara umum dinyatakan oleh ekspresi:

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda}$$

Untuk sebuah prisma, dipakai hubungan:

$$R = b \left| \frac{dn}{d\lambda} \right|$$

dengan  $b$  adalah alas prisma (lihat Gambar 1).

Daya pemecah prisma (**R**) dinyatakan dalam daerah spektrum kuning dan biru (Tabel 1) dari kemiringan kurva dispersi (**Gambar 3**) dengan prisma disinari penuh ( $b = 30$  mm).

**Tabel 1** Dispersi dan resolving power dari prisma gelas yang dinyatakan dari kurva disperse (Gambar 3).

Spectral region: yellow	$\frac{dn}{d\lambda}/\text{cm}^{-1}$	$\frac{\lambda}{d\lambda}$
Flint glass	691	2073
Crown glass	377	1131
Spectral region: blue	$\frac{dn}{d\lambda}/\text{cm}^{-1}$	$\frac{\lambda}{d\lambda}$
Flint glass	2365	7095
Crown glass	1126	3378

**Contoh:** Sebuah prisma dengan daya pemecah

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} = 1000$$

masih dapat memisahkan dua garis sodium-D.

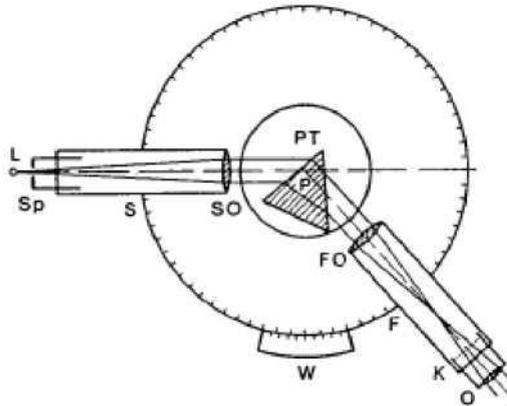
#### IV. Prosedur Percobaan

1. Seting alat percobaan seperti yang dimuat dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Seting alat untuk menentukan dispersi dari berbagai cairan

2. Atur spektrometer-goniometer dan grating sesuai dengan instruksi operasi. Bila pengaturan alat-alat tersebut benar, berkas sinar sejajar akan melewati prisma (**Gambar 5**).



**Gambar 5.** Set up dan lintasan sinar dalam spektrometer (L = sumber cahaya, Sp = celah dalam tabung, S = kolimator, SO = lensa kolimator, PT = meja prisma, P = prisma, FO = lensa teleskop, F = teleskop, O = mata, K = kawat melintang, W = skala pembacaan)

3. Proyeksika apertur atau celah kedalam bidang dari kawat menyilang dengan pengesetan teleskop tak hingga dan diamati dengan lensa mata yang digunakan sebagai pembesar.
4. Atur prisma agar menghasilkan deviasi minimum dengan posisi anguler  $\Phi_1$  dari teleskop membaca off pada vernier untuk masing-masing garis spektra.
5. Putar prisma sehingga cahaya jatuh pada permukaan terdekat dan cahaya dideviasikan ke arah sebaliknya. Sudut  $\Phi_2$  tidak membaca off pada masing-masing garis spektral, pada deviasi minimum.
6. Untuk menyatakan panjang gelombang garis spektrum merkuri, tempatkan sebuah grating (dengan holdernya) sejajar sumbu kolimator, dan cocok dengan tempat prisma.
7. Ukur sudut dari garis yang terdifraksi orde pertama terhadap bagian kanan dan kiri gambar dari celah yang tidak terdeviasi. (Lampu spektral mencapai maksimum luminositas setelah kira-kira dinyalakan 5 menit).
8. Pastikan bahwa saat menseting lampu, udara dapat bersirkulasi

melalui celah ventilasi pada housing lampu tanpa hambatan

#### **V. Tugas Pendahuluan**

Turunkan hubungan permitivitas relatif dengan indeks bias (hubungan Maxwell) pada Persamaan 1 dan hubungan permitivitas relatif polarisabilitas medium (hubungan Clausius dan Mossotti) dalam Persamaan 2, 3 dan Persamaan 4.

#### **VI. Tugas Akhir**

1. Simpulkan cara kerja spektrometer-goniometer.
2. Hitung indeks bias dari berbagai cairan yang diuji dalam prisma berrongga.
3. Hitung indeks bias berbagai prisma gelas yang diuji
4. Menentukan garis spektrum air raksa (mercuri)
5. Gambarkan hubungan antara indeks bias dengan panjang gelombang (kurva dispersi) dari bahan yang diuji.
6. Hitung daya pemecah prisma gelas dari kemiringan kurva disperse

## MODUL 10: KONSTANTA DIELEKTRIK

### **Topik yang terkait**

Persamaan Maxwell, tetapan listrik, kapasitansi dari pelat kapasitor, muatan ril, muatan bebas, displacement dielektrik, polarisasi dielektrik, konstanta dielektrik.

### **Prinsip dan uraian kerja**

Konstanta listrik  $\epsilon_0$  ditentukan dengan mengukur muatan suatu pelat kapasitor saat diberi muatan. Konstanta dielektrik  $\epsilon$  diperoleh dengan cara yang sama, dengan menempatkan plastik atau gelas di antara pelat.

### **I. Tujuan Percobaan**

Menentukan konstanta dielektrik suatu bahan.

### **II. Alat-alat yang Digunakan**

1. Pelat kapasitor, d 260 mm
2. Pelat plastik 283 x 283 mm
3. Pelat gelas f. current konduktor
4. Resistor 10 M Ohm
5. Universal measuring amplifier
6. Power supply, 0 - 10 kV
7. Voltmeter, 0.3 - 300 VDC, 10 - 300 VAC
8. Kabel koneksi hijau-kuning, 100 mm
9. Kabel koneksi merah 500 mm
10. Kabel koneksi biru 500 mm
11. Kabel screened, BNC, 750 mm
12. Adapter, BNC soket 4mm
13. Konektor tipe T, BNC
14. PEK kapasitor 0.22 pF, 160 Volt

### III. Teori Dasar

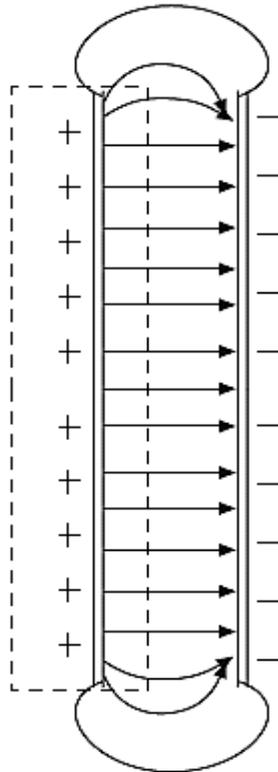
Proses listrik statis di dalam vakum (aproksimasi yang cukup baik: di udara) dinyatakan dalam bentuk integral persamaan Maxwell dalam Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$\oint_A \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\oint \vec{E} d\vec{S} = 0 \quad (2)$$

dengan  $\vec{E}$  adalah intensitas medan listrik,  $Q$  muatan yang dilingkupi oleh permukaan tertutup  $A$ ,  $\epsilon_0$  adalah konstanta listrik dan  $\vec{S}$  adalah lintasan tertutup.

Muatan listrik dari sebuah pelat kapasitor diilustrasikan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Muatan listrik dari sebuah pelat kapasitor dengan jarak antar pelat yang kecil. Garis putus-putus menyatakan integrasi volume.

Jika muatan  $U_c$  diberikan di antara dua pelat kapasitor, akan terjadi medan listrik  $\vec{E}$  antar pelat yang dinyatakan oleh (lihat Gambar 1):

$$U_c = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

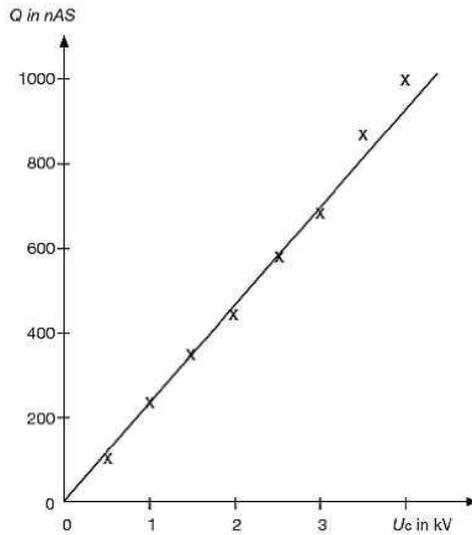
Akibat medan listrik, muatan listrik statis yang berlawanan tanda tertarik ke arah permukaan kapasitor. Jika sumber tegangan tidak membangkitkan muatan, tetapi hanya dapat memisahkan muatan, nilai absolute dari muatan listrik statis induksi kedua sisi pelat kapasitor pasti setara.

Dengan asumsi bahwa garis medan dari medan listrik selalu tegak lurus dengan permukaan kapasitor dengan permukaan  $A$ , sehubungan dengan simetri, secara eksperimen kondisi tersebut dapat diperoleh dengan membuat jarak antar pelat  $d$  sekecil mungkin. Persamaan 1 dapat ditulis menjadi Persamaan 3.

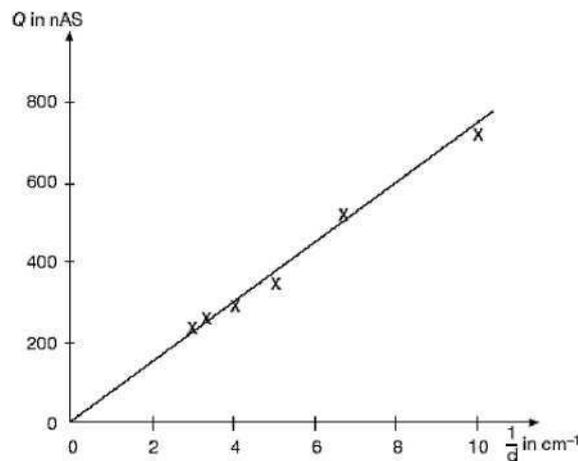
$$\frac{Q}{\epsilon_0} = E \cdot A = U_c \cdot A \cdot \frac{1}{d} \quad (3)$$

Berdasarkan Persamaan 3, muatan listrik statis merupakan fungsi dari tegangan  $U_c$  dan jarak antar pelat ( $d$ ). Muatan listrik statis ( $Q$ ) sebagai fungsi tegangan  $U_c$  dimuat dalam Gambar 2 dan muatan listrik statis ( $Q$ ) sebagai fungsi jarak antar pelat dimuat dalam Gambar 3.

Volume yang diindikasikan dalam Gambar 1, yang hanya menutupi pelat kapasitor, diambil sebagai volume setelah diintegrasikan. Pada saat permukaan kapasitor diletakkan tanpa merubah flux, muatan kapasitor adalah homogen. Kedua aliran dan medan listrik  $\mathbf{E}$  di luar kapasitor adalah nol. Muatan listrik statis kapasitor  $Q$  sebanding dengan tegangan. Konstanta kesebandingan  $C$  dinamakan kapasitansi dari kapasitor yang dimuat dalam Persamaan 4.



**Gambar 2.** Muatan listrik statis  $Q$  dari pelat kapasitor sebagai fungsi dari tegangan  $U_c$  yang diberikan ( $d = 0,2 \text{ cm}$ )



**Gambar 3.** Muatan listrik statis  $Q$  dari kapasitor pelat sebagai fungsi dari kebalikan jarak antar pelat  $d^{-1}$  ( $U_c = 1,5 \text{ kV}$ )

$$Q = C U_c = \epsilon_0 \frac{A}{d} \cdot U_c \quad (4)$$

Muatan  $Q$  berbanding lurus dengan tegangan  $U_c$  yang diberikan pada kapasitor yang tidak diubah-ubah diperlihatkan pada Gambar 1. Selanjutnya Persamaan 4 memperlihatkan kapasitansi dari kapasitor  $C$  berbanding terbalik dengan jarak antar pelat  $d$ .

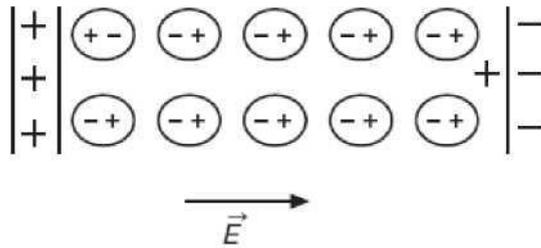
$$C = \epsilon_0 \cdot A \frac{1}{d} \quad (5)$$

Untuk tegangan tetap, kebalikan jarak antar pelat, dan kapasitansi diukur untuk sejumlah muatan kapasitor dapat dilihat dalam **Gambar 4**. Jika nilai  $U$ ,  $Q$ ,  $d$  and  $A$  dibalikkan, data pengukuran dapat digunakan untuk menghitung konstanta listrik  $\epsilon_0$ ,

$$\epsilon_0 = \frac{d}{A} \cdot \frac{Q}{U_c} \quad (6)$$

Dalam contoh pengukuran ini, diperoleh  $\epsilon_0 = 8,8 \times 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$ , dibandingkan dengan harga sebenarnya  $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$ ,

Persamaan (4), (5) dan (6) valid hanya untuk aproksimasi. Dengan menaikkan jarak antar pelat kapasitor, berdasarkan Persamaan 6, kapasitansi naik, secara sistematis menghasilkan konstanta listrik yang sangat besar. Itulah alasan mengapa nilai konstanta dielektrik harus ditentukan untuk jarak antar pelat yang kecil dan konstan (lihat Gambar 4).



**Gambar 4.** Muatan bebas yang terjadi dalam sebuah dielektrik menembus polarisasi molekul dalam medan listrik sebuah kapasitor pelat.

Hal yang mengubah kondisi adalah dielektrik yang ditempatkan di antara pelat. Dielektrik tidak memiliki pembawa muatan bebas seperti yang dimiliki oleh logam, tetapi dielektrik memiliki inti yang positif dan elektron yang bermuatan negatif. Sebelumnya molekul nonpolar, kemudian memiliki dipol stasioner secara lokal. Seperti yang dapat dilihat dalam Gambar 5., pengaruh dari saling menghilangkan secara makroskopik di dalam dielektrik. Namun, tidak ada pasangan muatan lain di permukaan; oleh karena itu dielektrik

memiliki muatan stasioner yang dinamakan muatan bebas. Muatan bebas melemahkan medan listrik  $\mathbf{E}$  dari muatan ril  $Q$  yang berada pada pelat kapasitor dengan dielektrik.

Pelemahan medan listrik  $\vec{E}$  dengan dielektrik dinyatakan dalam konstanta dielektrik spesifik bahan yang tidak bersatuan  $\epsilon$  ( $\epsilon = 1$  dalam vakum):

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon} \quad (7)$$

dengan medan listrik ditimbulkan hanya oleh muatan ril  $Q$ . Jadi, kebalikan medan yang ditimbulkan oleh muatan bebas menjadi

$$\vec{E}_r = \vec{E}_0 - \vec{E} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \vec{E}_0 \quad (8)$$

Dengan mengabaikan muatan volume dielektrik secara makroskopik, hanya muatan bebas ( $\pm Q$ ) yang efektif menimbulkan medan berlawanan.:

$$\vec{E}_r = \frac{Q_r}{A \epsilon_0} = \frac{Q_r \cdot 1}{\epsilon_0 V} = \epsilon_0 \frac{p}{V} \quad (9)$$

Dimana  $p$  adalah momen dipol total dari muatan permukaan. Dalam kasus umum dielektrik tak homogen, Persamaan 9 menjadi

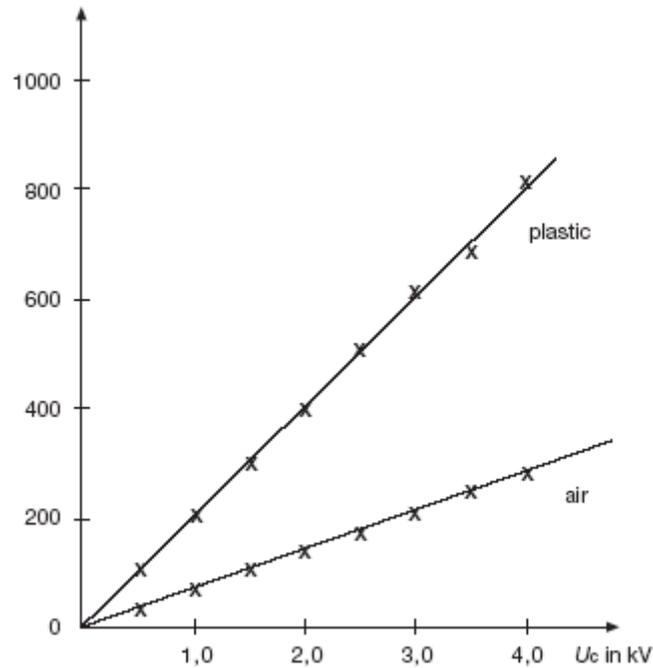
$$\vec{E}_r = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{d\vec{p}}{dV} = \frac{1}{\epsilon_0} \vec{P} \quad (10)$$

Dimana  $\mathbf{P}$  momen dipol total per volume, dinamakan polarisasi listrik. Jika ditambahkan medan  $\mathbf{D}$  (dielektrik displacement) dinyatakan

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (11)$$

Dimana garis medan hanya bersal dan berakhir dalam muatan ril (dapat diukur langsung), hubungan magnitude listrik, intensitas medan listrik, dielektrik displacement dan polarisasi mengikuti persamaan

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$$



**Gambar 6.** Muatan listrik  $Q$  dari kapasitor pelat sebagai fungsi dari tegangan yang diberikan  $U_c$ , dengan dan tanpa dielektrik (plastik) antar pelat ( $d = 0,98$  cm)

Jika muatan ril  $Q$  tersisa dalam kapasitor, saat dielektrik ditempatkan diantara pelat kapasitor, berdasarkan definisi (3), tegangan antar pelat yang tereduksi  $U_c$  dibandingkan dengan tegangan  $U_{vac}$  dalam vakum (atau sebagai aproksimasi yang baik, di udara) oleh konstanta

$$U_c = \frac{U_{vac}}{\epsilon} \quad (12)$$

Dengan cara yang sama diperoleh kapasitansi:

$$C = \epsilon \cdot C_{vac} \quad (13)$$

Bentuk umum persamaan (4) adalah

$$Q = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U_c \quad (14)$$

Dalam **Gambar 6**, muatan  $Q$  pada kapasitor diplot terhadap tegangan yang diberikan pada pelat  $U_c$  untuk perbandingan keadaan dengan dan tanpa pelat plastik, semua kondisi jangan diubah; untuk tegangan tetap, jumlah muatan kapasitor naik secara signifikan oleh dielektrik, dalam contoh ini adalah 2,9

kali. Jika muatan yang diperoleh dengan dan tanpa plastik (Persamaan 4 dan Persamaan 14) dibandingkan satu sama lain:

$$\frac{Q_{Plastic}}{Q_{vakum}} = \epsilon \quad (15)$$

nilai numerik yang diperoleh adalah konstanta dielektrik dari plastik.

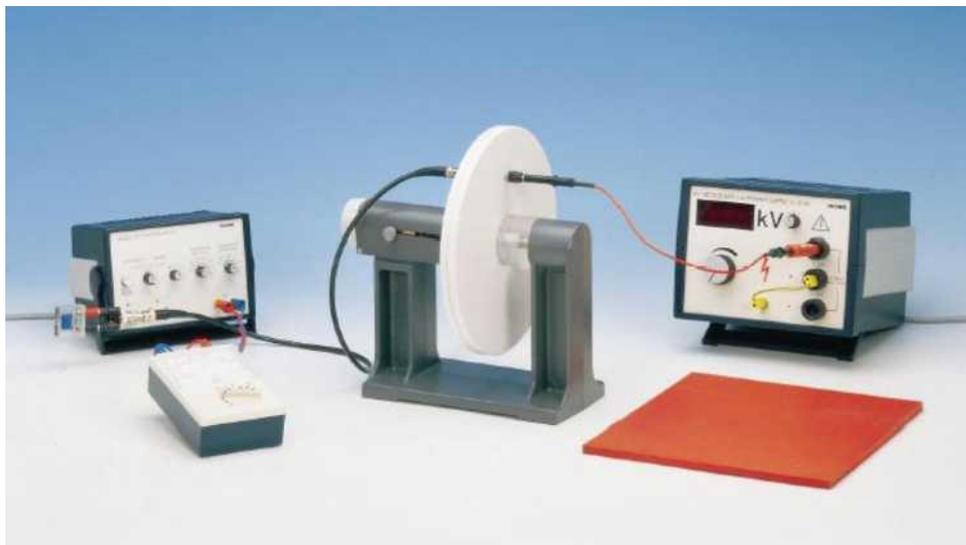
Untuk pelat gelas, nilai dari  $\epsilon = 9,1$  diperoleh dengan cara yang sama. Dalam rangka mempertimbangkan gambaran pengaruh muatan bebas, persamaan Maxwell (1) yang telah dilengkapi dengan konstanta dielektrik  $\epsilon$  yang mengisi volume di atas secara umum berhubungan dengan volume yang dimuat dalam Persamaan 16.

$$\oint_A \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} d\vec{A} = \oint \vec{D} d\vec{A} = Q \quad (16)$$

Oleh karena itu Persamaan 14 menjadi Persamaan 4.

#### IV. Prosedur Percobaan

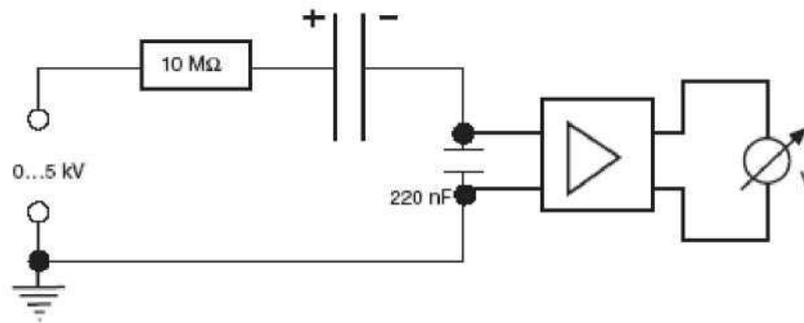
1. Susun alat percobaan seperti pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Set up alat percobaan konstanta dielektrik bahan

2. Hubungan rangkaiannya seperti diperlihatkan pada **Gambar 8**. Kapasitor pelat dihubungkan dengan bagian atas dari power supply. tegangan tinggi melalui resistor pelindung 10 MV. Konektor bagian tengah power

supply tegangan tinggi dan bagian sisi lain dari kapasitor (melalui kapasitor 220 nF) digroundkan.



**Gambar 2.** Diagram rangkaian pengukuran konstanta dielektrik

3. Ukur kondisi awal dengan menekan tombol kalibrasi.
4. Ukur muatan induksi listrik statis pada pelat kapasitor melalui pemberian tegangan pada kapasitor 220 nF, menurut Persamaan 4.
5. Pasang amplifier pengukur pada input resistansi tinggi, pada faktor amplifikasi 1 dan pada waktu konstan 0.

#### 4.1 Menentukan konstanta listrik $\epsilon_0$

1. Tentukan luas penampang kapasitor ( $A$ ), diketahui  $d = 260$  mm
2. Atur tegangan  $U_c$  pada 1,5 kV
3. Atur jarak pelat kapasitor sekecil mungkin (1 mm), dan ukur tegangan  $U$  dan  $Q$
4. Variasikan jarak  $d$  ( $d = 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$  dan  $3,5$  mm) dan lakukan pengukuran seperti point 2
5. Dengan menggunakan data yang diperoleh, hitung  $\epsilon_0$  dengan menggunakan persamaan 4.

**Pastikan selama pengukuran anda tidak berada di dekat kapasitor!**

#### 4.2 Menentukan Kebergantungan Muatan Induksi pada Tegangan

1. Atur jarak antar pelat pada  $d = 2$  mm
2. Ukur tegangan  $U$  (Volt) dengan pemberian  $U_c$  sebesar 0,5, 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 dan 3,5 kV

3. Tentukan nilai **Q**
4. Dengan menggunakan data yang diperoleh, hitung **s o** dengan menggunakan Persamaan 4

#### 4.3 Menentukan Konstanta Dielektrik Pelat Plastik

1. Pasang pelat plastik ( $d = 9,8 \text{ mm}$ ) di antara pelat kapasitor
2. Ukur tegangan **U** (Volt) dengan memberikan tegangan **U<sub>c</sub>** sebesar 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 dan 4,0 kV
3. Tentukan harga **Q** (nAs) dan  $Q = \frac{d}{A\epsilon_0} \frac{1}{U_c}$
4. Lepaskan pelat plastik
5. Pada jarak antar pelat yang sama dengan tebal pelat plastik ( $d = 9,8 \text{ mm}$ ), ukur tegangan **U<sub>vac</sub>** (Volt) dengan memberikan tegangan **U<sub>c</sub>** sebesar 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 dan 4,0 kV
6. Tentukan harga **Q<sub>vac</sub>** (nAs) dan bandingkan harga **Q** dengan **Q<sub>vac</sub>** ( $\frac{Q}{Q_{VAC}}$ )

#### 4.4 Menentukan Konstanta Dielektrik Pelat Gelas

1. Pasang pelat kaca di antara pelat kapasitor dan ukur ketebalan pelat kaca
2. Lakukan pengukuran dan perhitungan seperti pada langkah 4.3.

### V. Tugas Pendahuluan

Turunkan seluruh persamaan yang ada dalam terori modul ini.

### VI. Tugas Akhir

1. Gambarkan grafik hubungan antara muatan **Q** dengan tegangan **U** yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan pelat kapasitor.
2. Tentukan konstanta listrik **S<sub>o</sub>** yang diperoleh dari percobaan 4.1
3. Tentukan muatan pelat kapasitor yang diukur sebagai fungsi inverse dari jarak antar pelat, pada tegangan konstan.
4. Hubungan antara muatan **Q** dan tegangan **U** diukur dengan menggunakan

pelat kapasitor dengan menggunakan media dielektrik diantara kedua pelat. Hubungan konstanta dielektrik ditentukan dengan membandingkan kinerja hasil pengukuran dan pelat kapasitor dengan udara diantara kedua pelat

## Lampiran Hasil Pengukuran (Referensi)

### Pengukuran konstanta listrik

$$A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad U_c = 1.5 \text{ V} \quad C = 21 \text{ nF}$$

	3.3	2.4	1.6	1.35	1.2	1.1
d [cm]	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
$1/d$ [cm <sup>-1</sup> ]	10.0	6.7	5.0	4.0	3.3	2.9
$I_0$ [nAs]	719	523	350	294	262	240
$\epsilon_0$ [pAs/Vm]	9.00	9.85	8.75	9.25	9.85	10.50

$$A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad d = 0.2 \text{ cm} \quad C = 21 \text{ nF}$$

	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$v_M$	0.5	1.1	1.6	2.0	2.65	3.1	4.0	4.6
$Q$ [nAe]	109	24	34	447	578	687	872	1003
$\epsilon_0$ [pAs/Vm]	0.2	9.0	8.7	8.4	8.7	8.6	9.4	9.5

### Pengukuran konstanta dielektrik

$$\text{Plastic: } A = 0.0531 \text{ m}^2 \quad c = 0.93 \text{ cm} \quad C = 213 \text{ nF}$$

$U_e$ (W)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
UM	0.5	0.9	1.35	1.6	2.3	2.3	3.1	3.7
$I_0$ [nAs]	109	201	294	392	501	610	676	607
$n d J$	4.6	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.0	4.2
	0.16	0.3	0.51	0.62	0.76	0.95	1.12	1.3
$Q_w$ [nAa]	35	70	111	135	170	207	244	203
$I_0/Q_{vas}$	3.1	2.9	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

$$\text{Glass: } d = 0.17 \text{ cm} \quad U = 5.0 \text{ V} \quad I_0 = 1.264 \text{ pAs} \quad U_c = 500 \text{ V}$$

$$\epsilon_{\text{glass}} = 9.1$$