

MODUL 1: 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 : Φ = simpangan sudut.

I = momen kelembaman (momen inersia) rotator.

D = konstanta spiral

Persamaan frekuensi diri dari rotator dimuat dalam Persamaan 3.

$$\omega_0 = \left[\frac{D}{I} \right]^{1/2} \quad (3)$$

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 $\beta = \frac{R}{2I}$ ialah parameter redaman

R = faktor redaman

Terdapat tiga macam gerak yang teredam, yaitu:

1. Kurang redam ; jika $\omega_0^2 > \beta^2$
2. Redaman kritis ; jika $\omega_0^2 = \beta^2$
3. Terlampau redam ; jika $\omega_0^2 < \beta^2$

Dari ketiga jenis redaman tersebut, yang akan menghasilkan gerak ayunan adalah yang kurang redam ($\omega_0^2 > \beta^2$). 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 kontinyu 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:

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

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

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

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

$$\Phi = A \sin(\omega t) \text{ dengan}$$

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

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 β dan hitung faktor redaman R untuk masing-masing arus yang diberikan.
3. Plot grafik hubungan parameter redam β terhadap arus I.
4. Analisa grafik yang telah dibuat.

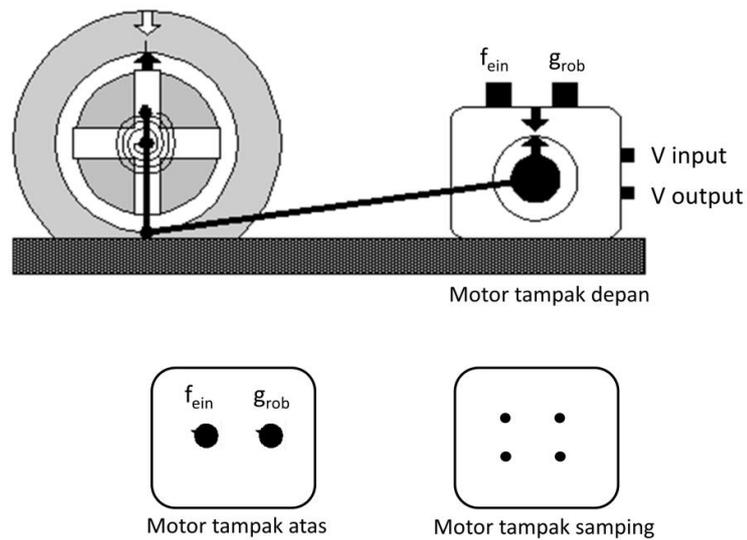
6.4 Frekuensi Redaman dan Paksaan

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.

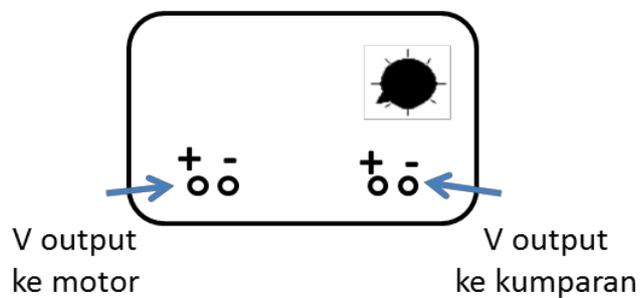
IV. DAFTAR PUSTAKA

1. Mechanics, Keith R. Syimon, Addison Wesley. Publishing Company, Third Edition.
2. Fisika Dasar, Seri Mekanik dan Listrik Magnet, Sutrisno, ITB, Bandung.

LAMPIRAN: ROTATOR HARMONIS



Gambar 1. Rotator harmonis



Gambar 2. Power supply

Data Rotator

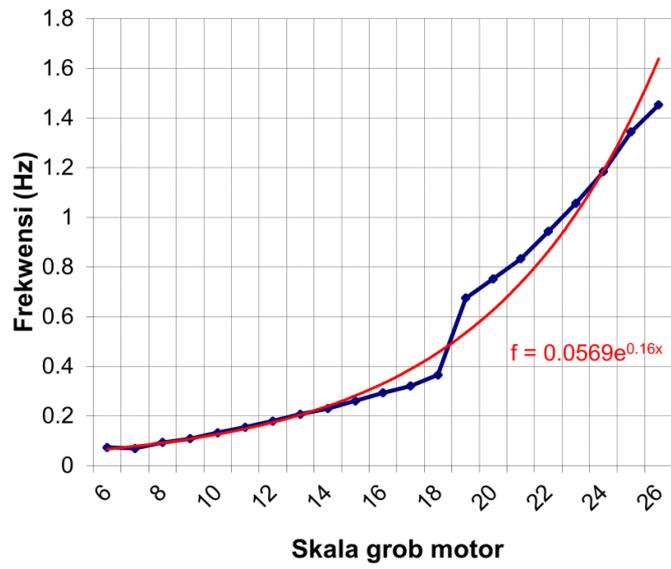
Massa rotator = (244.400 ± 0.005) gram

Diameter = (19.00 ± 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	7.506667	0.13321492
11	6.466667	0.154639175
12	5.5733333	0.179425837
13	4.826667	0.20718232
14	4.3533333	0.229709035
15	3.826667	0.261324042
16	3.406667	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 2: 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 λ 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.

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

$(b = \text{width of slit}; g = \text{distance between slits}; p = \text{number of slits})$

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.

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

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

$$\sin\varphi_h = \frac{2h+1}{2} \cdot \frac{\lambda}{g}; (h = 0,1,2,3\dots) \quad (5)$$

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

$$I \propto p^2 \quad (6)$$

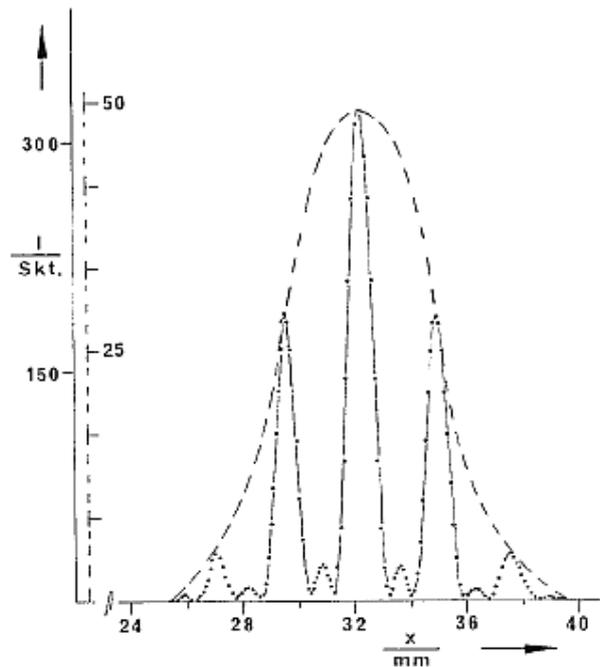
Puncak utama interferensi kedua menjadi lebih jelas dengan naiknya jumlah celah. Masih terdapat ($p - 2$) puncak difraksi sekunderkedua antara puncak-puncak utama.

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

$$\sin\varphi_k = \frac{k\lambda}{g}; (k = 0,1,2,3\dots) \quad (7)$$

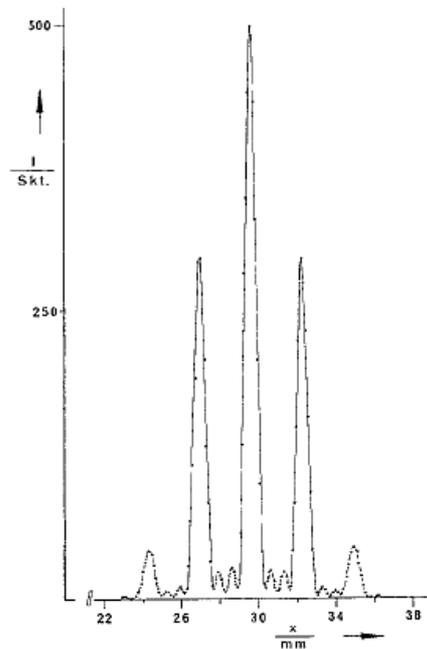
Gambar 1 memperlihatkan intensitas difraksi I untuk suatu celah kelipatan tiga sebagai fungsi posisi x dari fotosel (jarak antar objek difraksi dan fotosel; $L = 107$ cm). Sebagai perbandingan, pola difraksi dari celah tunggal dibentuk sebagai envelope, dengan sebuah skala ordinat yang sesuai. Minimum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

ganda. Untuk itu, dari ungkapan 2 didapatkan $d = 0.095 \text{ mm}$ dengan jarak $2 \cdot \Delta x = 14 \text{ mm}$ antara dua minimum interdfferensi pertama ($\sin w < \tan w$, $L = 107 \text{ cm}$, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$). 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, $b_1 = 0,1 \text{ mm}$ dan $g = 0,25 \text{ mm}$. Jarak antara celah kelipatan tiga dengan fotosel: $L = 107 \text{ cm}$. Untuk perbandingan, distribusi intensitas dari celah pertama, $b = 0,1 \text{ mm}$, dimasukkan sebagai garis yang diberi titik

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.



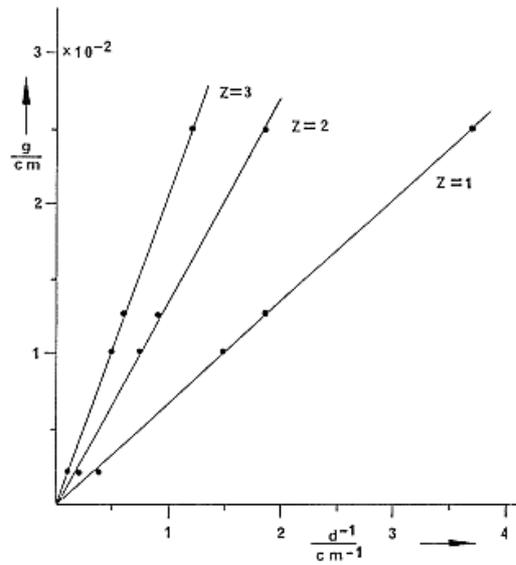
Gambar 2. Intensitas difraksi I sebagai fungsi dari posisi x untuk celah kelipatan empat dengan $b_1 = 0,1$ mm dan $g = 0,25$ mm

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.	$I_{05} / I_{03} = 2.40$	$(5/3)^2 = 2.78$

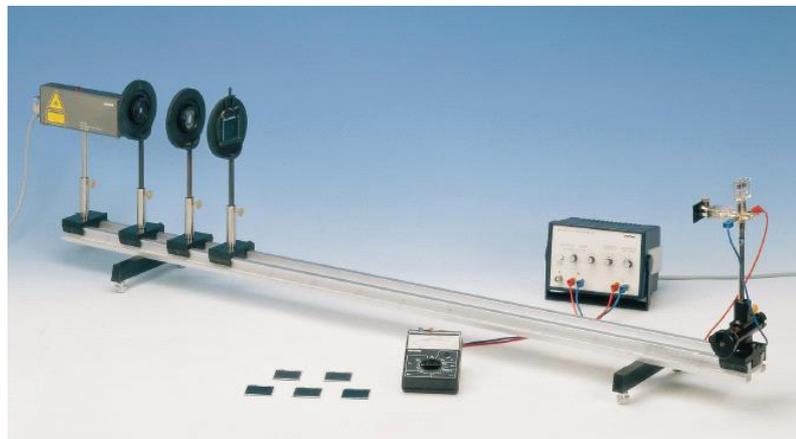
Gambar 3 memperlihatkan puncak difraksi dari 4 kisi transmisi berbeda yang diukur sampai orde ke tiga ($K = 3$) sebagai fungsi dari konstanta kisi g . Dengan ungkapan 7, **Gambar 3** menghasilkan nilai rata-rata panjang gelombang sinar laser yang digunakan $\lambda = 635$ nm.



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 $f/20$ mm = 14,5 cm, lensa $f/100$ mm = 27,5 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 foto sel dengan gap celah. Tempatkan foto sel 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 $10^4\Omega$ dari amplifier pengukur (faktor perbesaran 10^3 - 10^5). Hubungkan resistor $2,2$ k Ω 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 pucak 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 (K_3) 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 3: OSILOSKOP

Topik Terkait

Bentuk gelombang, interferensi, resonansi, dan redaman

I. Tujuan Percobaan

Mempelajari cara kerja osiloskop dan pemakaiannya sebagai alat yang digunakan untuk:

1. Menentukan besar tegangan power supply.
2. Menghitung frekuensi power supply.
3. Mengetahui beda sudut fase sinyal input dan output pada rangkaian RC.
4. Menghitung frekuensi resonansi pada rangkaian RLC.
5. 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 sinusoida. Bahkan osiloskop dapat memberikan informasi mengenai beda sudut fase dari dua buah sinyal. Dengan menggunakan metode lissayous, 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 :

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

dan berlaku Persamaan 1.

$$m\omega_2 = n\omega_1 \tag{1}$$

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

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n}{m} \tag{2}$$

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.

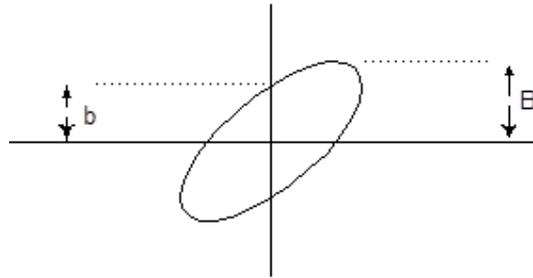
$$\frac{X^2}{A^2} + \frac{Y^2}{B^2} - \left(\frac{2XY}{AB}\right) \cos \phi = \sin^2 \phi \tag{3}$$

yang menggambarkan suatu persamaan ellips.

Untuk gambar ellips berlaku Persamaan 4.

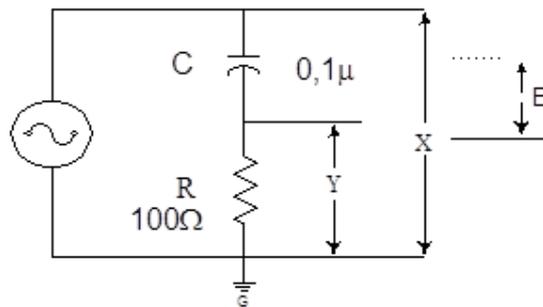
$$\sin \phi = \frac{b}{B} \tag{4}$$

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.

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

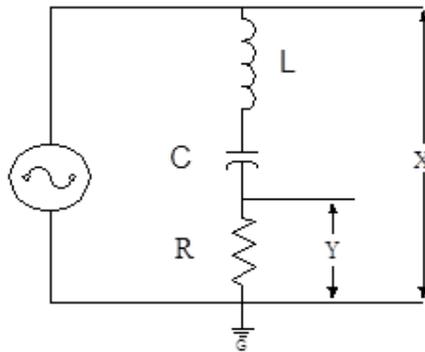
Dalam suatu rangkaian seri RLC (**Gambar 3**) dikatakan dalam keadaan resonansi bila impedansi totalnya adalah real. Keadaan real ini dapat dicapai

apabila:

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

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

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 $R < 2(L/C)^{1/2}$, maka solusi Persamaan 8 adalah dimuat dalam Persamaan 9.

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

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

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

q_0, ϕ 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 (Λ) 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:
 - ① Apa yang terjadi jika anda memutar kontrol INTENT?
 - ② Apa yang terjadi jika anda memutar kontrol FOCUS?
 - ③ Bagaimana cara mengatur posisi VERTICAL dan HORIZONTAL?
 - ④ Apa yang terjadi jika anda mengubah kontrol TIME/V?
 - ⑤ Apa yang terjadi jika anda mengubah kontrol AMPL/DIV?
 - ⑥ Apa yang terjadi jika posisi AC-GND-DC diswitch pada posisi tepat ditengah?
 - ⑦ Apa yang terjadi jika anda memindahkan kontrol level trig?

- ⑧ Apa yang terjadi jika slope switch diputar?
- ⑨ 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 20V.

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 $n/m = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, 2, 3, 4,$ dan 5

4.5 Mengukur Beda Sudut Fasa Input dan Output

1. Susun rangkaian seperti pada **Gambar 2**

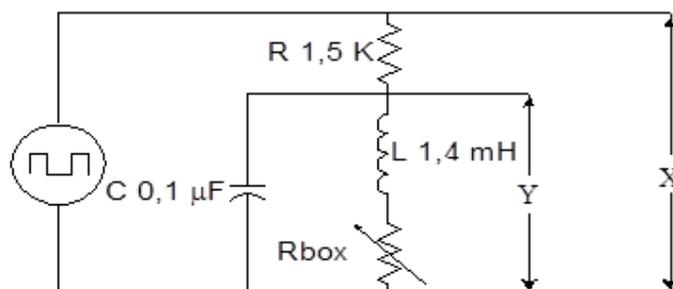
- Masukkan sinyal input (150 Hz, 5V) dari sinyal generator
- Masukkan sinyal input rangkaian ke input A dan output rangkaian ke input B
- Tempatkan selektor TIME/DIV pada posisi X-DEFL.
- Tentukan nilai b dan B dari gambar ellips yang terbentuk untuk masing-masing sinyal A (input) dan sinyal B (output)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

4.6 Resonansi Listrik

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

4.7 Tahanan Sebagai Peredam

- 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. Atur 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 $t = T$, V_2 untuk $t = 2T$, V_3 untuk $t = 3T$ dan seterusnya hingga amplitudo yang masih dapat diamati.
7. Lakukan percobaan 4 s/d 7 untuk Rbox 100, 250 dan 500 Ω .

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 $2\sqrt{L/C}$.
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 4: DISPERSI DAN DAYA PEMECAH PRISMA

Topik Terkait

Hubungan Maxwell, dispersi, polarisabilitas, indeks bias, prisma, grating Rowland, spektrometer-goniometer

Prinsip dan Uraian Kerja

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

I. Tujuan Percobaan

1. Mempelajari cara kerja spektrometer-goniometer.
2. Menentukan indeks bias dari berbagai cairan dalam prisma berongga.
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/goniom. 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 permeabilitas 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 ϵ_0 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.

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

Meskipun Persamaan 4 hanya berlaku untuk frekuensi alamiah yang dihitung, formula ini mampu menggambarkan penurunan indeks bias dengan kenaikan

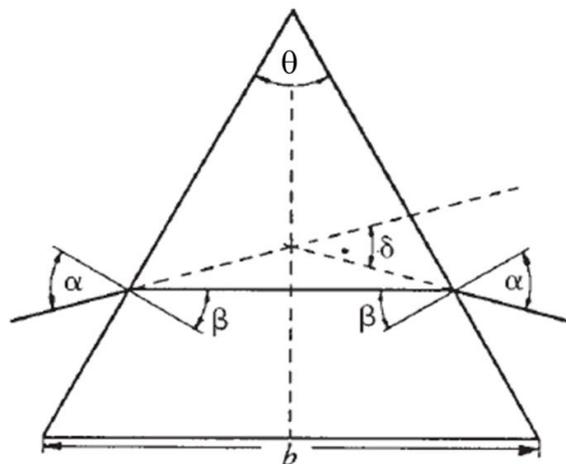
panjang gelombang diluar jangkauan frekuensi alamiah. Panjang gelombang garis spektrum dinyatakan dengan grating difraksi yang ditempatkan dalam lintasan sinar sebaliknya dari prisma. Saat pola difraksi orde pertama muncul, berlaku hubungan antara panjang gelombang λ , konstanta grating G dan sudut ϕ :

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

λ ditentukan dari rata-rata hasil pengukuran.

λ_{merah}	=	627,3 nm
λ_{kuning}	=	579,8 mm
λ_{hijau}	=	547,7 nm
$\lambda_{\text{birulangit}}$	=	493,9 nm
λ_{biru}	=	438,5 nm
λ_{ungu}	=	405,1 nm

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



Gambar 1. Pemantulan oleh prisma saat lintasan sinar simetris

Jika α adalah sudut datang, β adalah sudut pantul dan ϕ adalah sudut prisma, berlaku hubungan dalam Persamaan 4 dan Persamaan 5.

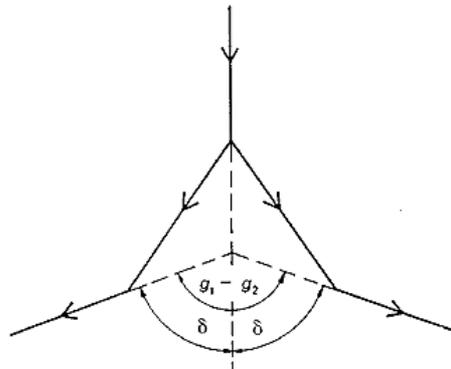
$$\sin \alpha = n \cdot \sin \beta \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\theta}{2} \text{ and } \delta = 2\alpha - \theta \quad (5)$$

Dari hubungan tersebut diperoleh hubungan Persamaan 6.

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \delta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} \quad (6)$$

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

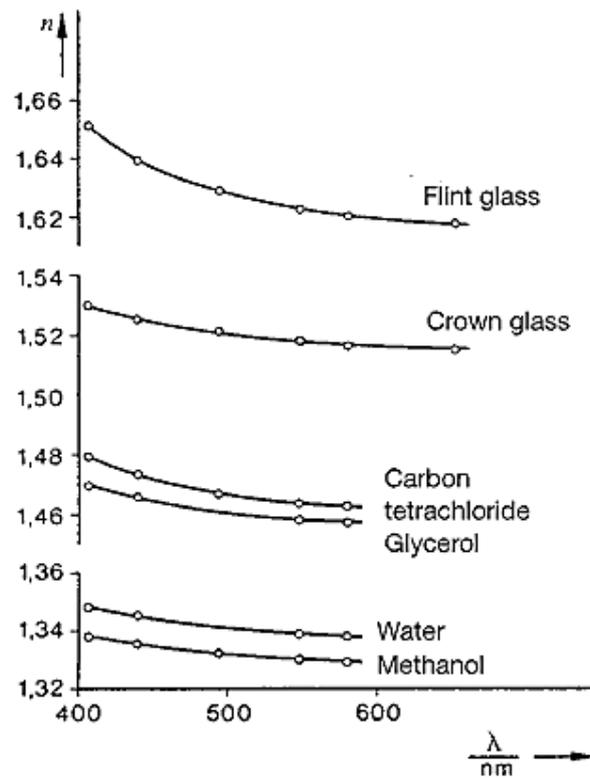


Gambar 2. Pengukuran sudut deviasi minimum

Sudut deviasi minimum diperoleh dari perbedaan antara sudut φ_1 dan sudut φ_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**.



Gambar 3. Kurva dispersi berbagai bahan

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

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

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

Untuk sebuah prisma, dipakai hubungan:

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

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 ($b = 30 \text{ mm}$).

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.

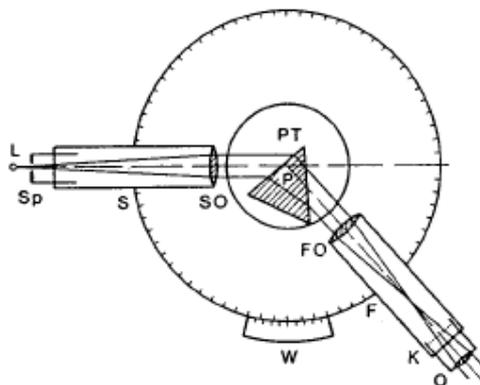
IV. Prosedur Percobaan

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



Gambar 4. Seting alat untuk menentukan dispersi dari berbagai cairan

- 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)

- Proyeksika apertur atau celah kedalam bidang dari kawat menyilang dengan pengesetan teleskop tak hingga dan diamati dengan lensa mata yang digunakan sebagai pembesar.
- Atur prisma agar menghasilkan deviasi minimum dengan posisi anguler ϕ_1 dari teleskop membaca off pada vernier untuk masing-masing garis spektra.
- Putar prisma sehingga cahaya jatuh pada permukaan terdekat dan cahaya dideviasikan ke arah sebaliknya. Sudut ϕ_2 tidak membaca off pada masing-masing garis spektral, pada deviasi minimum.
- Untuk menyatakan panjang gelombang garis spektrum merkuri, tempatkan sebuah grating (dengan holdernya) sejajar sumbu kolimator, dan cocok dengan tempat prisma.
- 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 dispersi

MODUL 5: 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 ϵ_0 ditentukan dengan mengukur muatan suatu pelat kapasitor saat diberi muatan. Konstanta dielektrik ϵ 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 μ F, 160 Volt

III. Teori Dasar

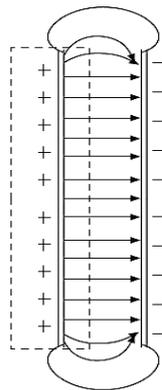
Proses listrik statis di dalam vakum (aproksimasi yang cukup baik: di udara) dinyatakan dalam bentuk integral persamaan Maxwell dalam Persamaan 1 dan Persamaan 2.

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

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

dengan \vec{E} adalah intensitas medan listrik, Q muatan yang dilingkupi oleh permukaan tertutup A , ϵ_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):

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

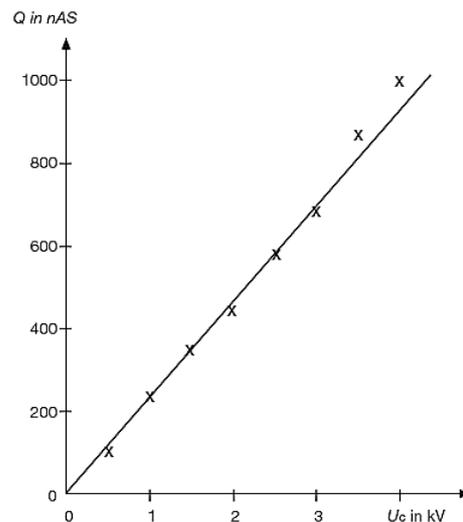
Akibat medan listrik, muatan listrik statis yang berlawanan tanda tertarik ke arah permukaan kapasitor. Jika sumber tegangan tidak membangkitkan muatan, tetapi hanya dapat memisahkan muatan, nilai absolute dari muatan

listrik statis induksi kedua sisi pelat kapasitor pasti setara.

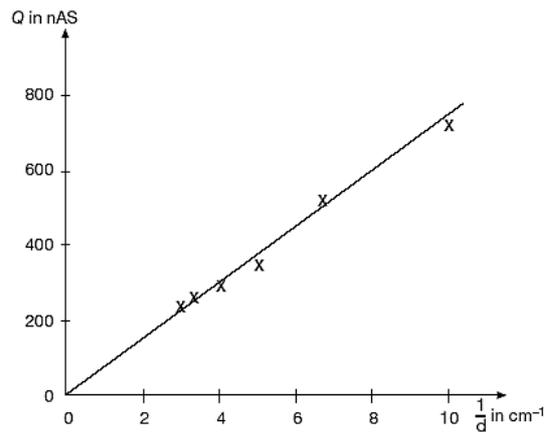
Dengan asumsi bahwa garis medan dari medan listrik selalu tegak lurus dengan permukaan kapasitor dengan permukaan A , sehubungan dengan simetri, secara eksperimen kondisi tersebut dapat diperoleh dengan membuat jarak antar pelat d sekecil mungkin. Persamaan 1 dapat ditulis menjadi Persamaan 3.

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

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**.



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



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

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 \vec{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.

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

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 .

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

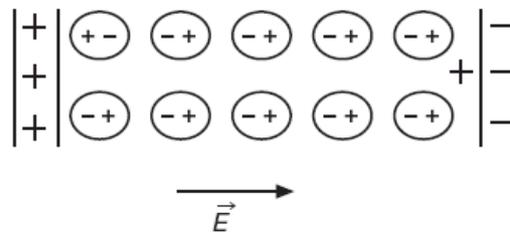
Untuk tegangan tetap, kebalikan jarak antar pelat, dan kapasitansi diukur untuk sejumlah muatan kapasitor dapat dilihat dalam **Gambar 4**. Jika nilai U , Q , d and A dibalikkan, data pengukuran dapat digunakan untuk menghitung konstanta listrik ϵ_0 ,

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

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

$$\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$$

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 \vec{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 ϵ ($\epsilon = 1$ 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.:

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

Dimana p adalah momen dipol total dari muatan permukaan. Dalam kasus umum dielektrik tak homogen, persamaan (9) menjadi

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

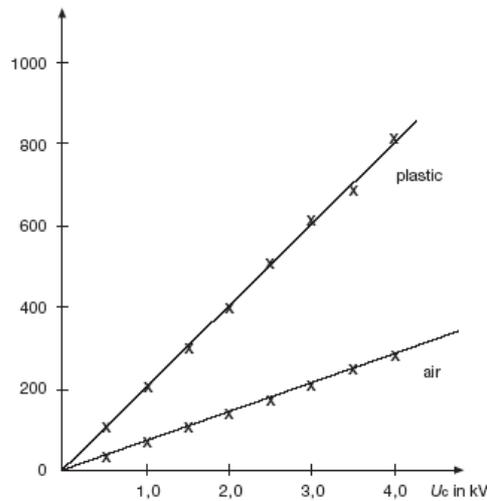
Dimana \vec{P} momen dipol total per volume, dinamakan polarisasi listrik.

Jika ditambahkan medan \vec{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:

$$\frac{Q_{\text{plastic}}}{Q_{\text{vacuum}}} = \epsilon \quad (15)$$

nilai numerik yang diperoleh adalah konstanta dielektrik dari palstik.

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 ϵ 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

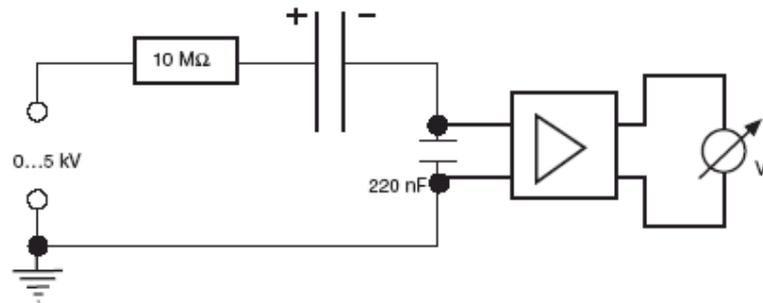
1. Susun alat percobaan seperti pada **Gambar 7**.



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 ϵ_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 ϵ_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 $d = 2 \text{ mm}$
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 ϵ_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_c 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 $Q \frac{d}{A\epsilon_o} \frac{1}{U_c}$
4. Lepaskan pelat plastik
5. Pada jarak antar pelat yang sama dengan tebal pelat plastik ($d = 9,8 \text{ mm}$), ukur tegangan U_{VAC} (Volt) dengan memberikan tegangan U_c sebesar 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 dan 4,0 kV
6. Tentukan harga Q_{VAC} (nAs) dan bandingkan harga Q dengan $Q_{VAC} \left(\frac{Q}{Q_{VAC}} \right)$

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 ϵ_0 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

$A = 0.0531 \text{ m}^2$ $U_c = 1.5 \text{ V}$ $C = 218 \text{ nF}$

U [V]	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^{-1}]	10.0	6.7	5.0	4.0	3.3	2.9
Q [nAs]	719	523	350	294	262	240
ϵ_0 [pAs/Vm]	9.00	9.85	8.75	9.25	9.85	10.50

$A = 0.0531 \text{ m}^2$ $d = 0.2 \text{ cm}$ $C = 218 \text{ nF}$

U_c [kV]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
U [V]	0.5	1.1	1.6	2.05	2.65	3.15	4.0	4.6
Q [nAs]	109	240	348	447	578	687	872	1003
ϵ_0 [pAs/Vm]	8.2	9.0	8,7	8.4	8.7	8.6	9.4	9.5

Pengukuran konstanta dielektrik

Plastic: $A = 0.0531 \text{ m}^2$ $d = 0.98 \text{ cm}$ $C = 218 \text{ nF}$

U_c [kV]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
U [V]	0.5	0.92	1.35	1.8	2.3	2.8	3.1	3.7
Q [nAs]	109	201	294	392	501	610	676	807
$Q_{\text{vac}} \frac{d}{A\epsilon_0} \frac{1}{U_c}$	4.8	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.0	4.2
U_{vac} [V]	0.16	0.32	0.51	0.62	0.78	0.95	1.12	1.3
Q_{vac} [nAs]	35	70	111	135	170	207	244	283
Q/Q_{vac}	3.1	2.9	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

Glass: $d = 0.17 \text{ cm}$ $\bar{U} = 5.8 \text{ V}$ $Q = 1.264 \text{ } \mu\text{As}$ $U_c = 500 \text{ V}$
 $\epsilon_{\text{glass}} = 9.1$