

PERCOBAAN 2

PROPAGASI DARI GELOMBANG TRANSVERSAL KONTINU YANG DIHASILKAN SECARA PERIODIK

I. Tujuan

1. Membuktikan hubungan antara kecepatan rambat gelombang, frekuensi gelombang, dan panjang gelombang.
2. Membuktikan frekuensi-frekuensi natural yang dihasilkan merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar, baik pada gelombang stasioner ujung bebas maupun ujung tetap.

II. Ruang Lingkup

1. Frekuensi pada osilator-osilator 1, 10, 20, 30, dan 40 yang akan ditentukan dengan penghitung elektronik (*electronic counter*) dari *light barrier* dan *stopwatch* untuk frekuensi eksitasi tertentu.
2. Untuk tiga frekuensi yang berbeda panjang gelombang yang bersesuaian diukur dan ditunjukkan bahwa hasil perkalian frekuensi dengan panjang gelombang adalah konstan.
3. Empat frekuensi natural terendah dengan dua ujung dari system osilator yang tetap dideteksi.
4. Empat frekuensi natural terendah dengan satu ujung dari system osilator yang tetap dan yang lainnya bebas dideteksi.

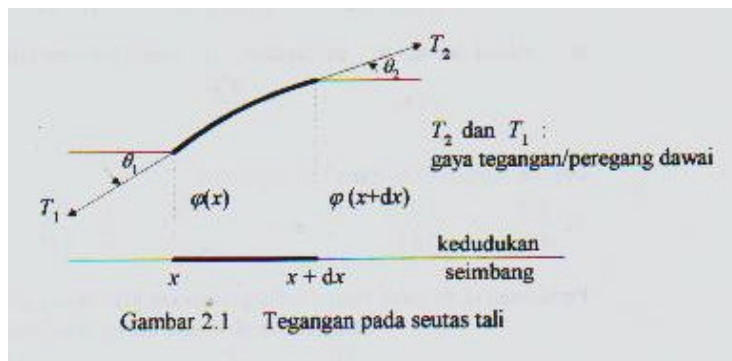
Periodisitas dari osilator stasioner (*stationary oscillators*) yang terhubung dipergakan dalam contoh gelombang transversal yang harmonis dan kontinu yang dibangkitkan dengan sebuah mesin gelombang.

Jumlah osilasi yang terjadi dihasilkan oleh osilator-osilator yang berbeda dalam waktu tertentu ditentukan dan kecepatan rambatan (propagasi) diukur. Hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan kecepatan fase dicari. Susunan dari gelombang-gelombang tegak akan diperagakan dan dibahas.

A. Teori Singkat

Persamaan gelombang dalam dawai ditentukan berdasarkan beberapa pengandaian :

- Dawai bersifat lentur
- Memiliki kerapatan massa merata sepanjang dawai
- Panjang dawai tak berubah dan simpangan dawai tidak terlalu besar.
- Tali (dawai) cukup panjang sehingga efek ujung-ujungnya dapat diabaikan.



Persamaan gerak dawai diturunkan dengan meninjau elemen dawai dx pada kedudukan tak seimbang dengan gaya-gaya peregang dawai T_1 dan T_2 . Dengan memakai Hukum Newton, maka dapat dituliskan persamaan-persamaan berikut :

$$\sum F_x = T_2 \cos \mathbf{q}_2 - T_1 \cos \mathbf{q}_1 = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum F_y = T_2 \sin \mathbf{q}_2 - T_1 \sin \mathbf{q}_1 = 0 \quad (2.2)$$

$$T_2 \cos \mathbf{q}_2 = T_1 \cos \mathbf{q} = T_0 (\text{kons tan}) \quad (2.3)$$

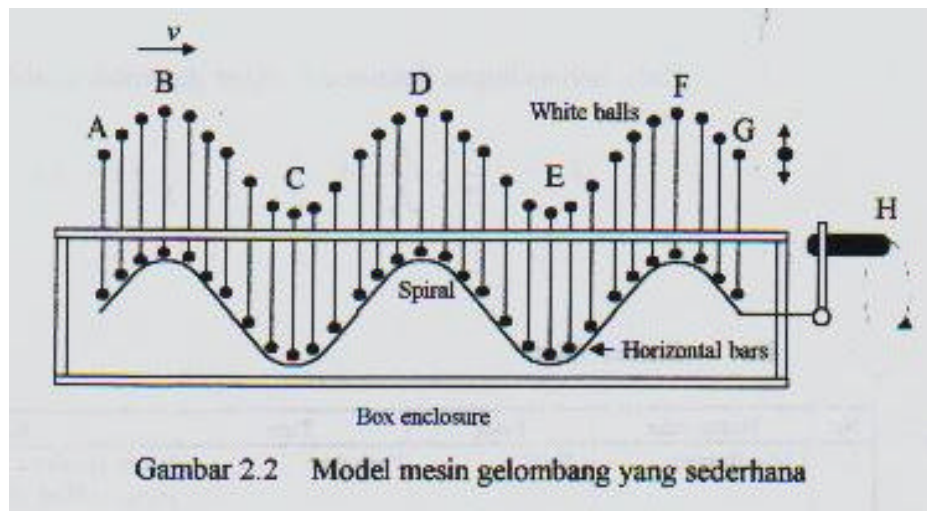
Kalau $f(x)$ =gaya peregang dawai per satuan panjang, maka :

$$\sum F = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2}$$

$$\sum F = \sqrt{\left(T_n \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} - T_0 \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} \right)^2}$$

$$f(x)dx = T_0 \tan \mathbf{q}_2 - T_0 \tan \mathbf{q}_1 \quad (2.4)$$

Untuk menunjukkan rambatan gelombang harmonis transversal ini dipergunakan mesin gelombang seperti terlihat pada gambar berikut ini :



Apabila mesin gelombang diamati pada suatu kedudukan tertentu, yaitu $x (=0, x_1, x_2 \dots)$, maka setiap osilator melakukan gerakan periodic relative terhadap waktu dengan frekuensi sama dan waktu getar yang sama pula.

Gelombang pengeksitasi :

$$j_n = A \sin 2\pi f \left(t - \frac{x_n}{C_p} \right), \text{ dengan} \quad (2.14)$$

A : amplitudo, λ : panjang gelombang,

$$C_p: \text{kecepatan gelombang (fase), } C_p = f \cdot \lambda \quad (2.15)$$

$$j(0, t) = j_1 = A \sin(2\pi f \cdot t) = A \cdot \sin(\omega t) \quad (2.16)$$

Apabila dua buah gelombang dijumlahkan, maka dapat ditunjukkan pada pembahasan berikut :

a) Kalau kedua ujung system tetap, maka :

$$k \cdot \frac{\lambda}{2} = L, \quad k = 1, 2, 3, \text{ dan seterusnya, } L: \text{panjang system} \quad (2.17)$$

merupakan syarat terjadinya gelombang tegak.

Dari perbandingan frekuensi k dan jumlah simpul Z , diperoleh hubungan :

$$Z = \frac{f_k}{f_g} + 1 = k + 1 \quad (2.18)$$

b) Bila salah satu ujung system terbatas dan ujung lain terbuka, maka :

$$(2k - 1) \cdot \frac{l}{4} = L \quad (2.19)$$

Dari perbandingan frekuensi I dapat diperoleh jumlah simpul Z sebagai berikut :

$$Z = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_k}{f_g} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2} (l + 1) = k \quad (2.20)$$

B. Daftar Alat

No.	Nama Alat	Kode	Tipe	Konfigurasi
1	Light Barrier	LB-02	Fork type	Light Barrier 1 buah Support Rod, 40 cm 1 buah Right Angle Clamp 1 buah Bench Clamp 1 buah
2	Light Barrier	LB-03	Wave Counter	Light Barrier 1 buah Support Rod, 40 cm 1 buah Right Angle Clamp 1 buah Bench Clamp 1 buah
3	Screened Cable	KABEL-07	BNC. 1,5 m	
4	Connecting Cord	KABEL-08	2 m, Red	
5	Connecting Cord	KABEL-09	1 m, Red	
6	Connecting Cord	KABEL-10	1 m, Red	
7	Connecting Cord	KABEL-11	2 m, Blue	
8	Power Supply	PSV-01	2 x 15 V/ 2 A	Power Supply 1 buah Kabel Power 1 buah
9	Wave Machine	MESIN-01	48 oscillators	Wave Machine 1 buah Light Stop 2 buah

				Bak Atenuasi	1 buah
10	Laboratory Motor	MOTOR-01	220 VAC	Laboratory Motor	1 buah
				Bench Clamp	1 buah
				Gearing 30:1	1 buah
				Gearing 100:1	1 buah
11	Stop watch	SW-01	Interruption type		
12	Meter Scale	MISTAR-10	1 m		

Referensi

PHY-WE, University Laboratory Experiments, Edition 94/95, Volume I-5, 1.2.19 The Propagation of Periodically Excited Continous Transverse Wave

III. Data Hasil Percobaan

Pengukuran Frekuensi (Tabel 2.1)

Osilator No.	1	10	21	30	40
N	200	200	200	200	200
n	100	100	100	100	100
$\Delta t(s)$	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
$\frac{n}{\Delta t}(s^{-1})$	3,1645	3,1645	3,1645	3,1645	3,1645

Keterangan : t : waktu yang terukur

N:jumlah pulsa dalam periode pengukuran

n : jumlah osilasi (getaran)

Pengukuran Kecepatan Gelombang Cp (Tabel 2.2)

	N	n	$\Delta t(s)$	$F(s^{-1})$	$l(cm)$	$Cp(cm.s^{-1})$
1	185	92,5	60	1,542	51,5	79,413
2	245	122,5	60	2,042	45	91,89
3	290	145	60	2,42	41,5	100,43

$$\overline{C_p} = 90,578$$

N : jumlah pulsa selama Δt

$$n = \frac{N}{2} : \text{jumlah osilasi selama } \Delta t$$

Frekuensi Resonansi untuk Gelombang Stasioner Ujung Tetap (Tabel 2.3)

N	n	$\Delta t(s^{-1})$	$f_k(Hz)$	k	$\frac{f_k}{k}(Hz)$	I
10	5	10,6	0,47	1	0,47	$\frac{2}{1}L$
10	5	6,5	0,769	2	0,3845	$\frac{2}{2}L$
20	10	9	1,111	3	0,370	$\frac{2}{3}L$
40	20	15	1,333	4	0,33325	$\frac{2}{4}L$

Frekuensi Resonansi untuk Gelombang Stasioner Ujung Bebas (Tabel 2.4)

N	n	$\Delta t(s^{-1})$	$f_k(Hz)$	K	l	$\frac{f_k}{l}(Hz)$	I
10	5	4,3	1,163	4	7	0,166	$\frac{4}{7}L$
10	5	5,7	0,877	3	5	0,175	$\frac{4}{5}L$
20	10	15	0,667	2	3	0,226	$\frac{4}{3}L$
40	20	72,4	0,276	1	1	0,276	$\frac{4}{1}L$

IV. Analisa Hasil Percobaan

1.

- Tabel 2.1

Untuk jumlah gelombang yang sama dan jumlah pulsa yang sama, nomor osilator tidak berpengaruh terhadap waktu dan frekuensi.

- Tabel 2.2

Pada tabel ini, diperlihatkan pengaruh N terhadap F dan pengaruh I terhadap C_p

- Tabel 2.3

Memperlihatkan pengaruh N dan Δt terhadap fk

- Tabel 2.4

Menunjukkan pengaruh l terhadap fk

2.

- 2 buah Light Barrier (LB-03) dengan konfigurasi masing-masing :

- 1 buah light barrier
- 1 buah Support Rod, 40 cm
- 1 buah Right Angle Clamp
- 1 buah Bench Clamp

Sesuai dengan namanya, alat ini berguna untuk menghalangi cahaya yang masuk sehingga counter penghitung pulsa bekerja.

- Screened Cable (KABEL-07)

- 4 buah Connecting Cord (KABEL 07-08-09-10-11)

Berfungsi untuk menghubungkan komponen-komponen lainnya.

- Power Supply (PSV-01) dengan konfigurasi sebagai berikut :

- 1 buah power supply
- 1 buah kabel power

Berfungsi sebagai sumber tenaga untuk mesin.

- Wave Machine (MESIN-01) dengan konfigurasi sebagai berikut :

- 1 buah wave machine
- 2 buah light stop
- 1 buah bak atenuasi

Merupakan komponen utama dalam percobaan ini.

Berguna untuk menghasilkan gelombang buatan.

- Laboratory Motor (MOTOR-01) dengan konfigurasi :
 - 1 buah Laboratory Motor
 - 1 buah bench clamp
 - 1 buah gearing 30:1
 - 1 buah gearing 100:1

Untuk mengatur kecepatan gelombang.

- Stop watch (SW-01)

Untuk menghitung waktu selama kejadian tertentu.

- Meter Scale (MISTAR-01)

Digunakan untuk mengukur panjang gelombang.

3. 2 sifat gelombang yang tidak dimiliki partikel :

- Interferensi

Adalah kerja sama antara dua gelombang cahaya atau lebih pada suatu titik atau daerah tertentu pada suatu waktu tertentu pula.

- Difraksi

Adalah pembelokkan atau pelenturan cahaya.

4. ya, gelombang memiliki momentum dan massa.

Kesimpulannya : gelombang adalah suatu benda yang bermassa dan memiliki kecepatan, sehingga memiliki momentum pula.

5. Empat persamaan dasar Maxwell :

- $\epsilon_0 \int_{cs} E \cdot dA = \sum q$
- $\int_{cs} B \cdot dA = 0$
- $\oint E \cdot ds = -\frac{d}{dt} \int B \cdot dA$
- $\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int E \cdot dA$

Pembuktian :

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int E \cdot dA, I=0 \text{ sehingga}$$

$$\int_{\text{bottom}} B_x dx - \int_{\text{rightside}} B_z dz - \int_{\text{top}} B_x dx + \int_{\text{leftside}} B_z dz = 0 + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \int E \cdot dA, \text{ untuk } B_x=0$$

$$-(B_z)2L + (B_z)1L = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (EL\Delta x)$$

$$\frac{\partial B_z}{\partial x} = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 B_z}{\partial t \partial x} \text{ dan } \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = -\frac{\partial^2 B_z}{\partial t \partial x}$$

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$$

$$c = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}; \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb} / \text{Am}; \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C} / \text{Nm}^2$$

dari data di atas, diperoleh : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$

6. Gelombang Stasioner dengan Salah Satu Ujung Bebas

$$Y_p = 2A \cos 2\pi \left(\frac{x}{l} \right) \sin 2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{l}{x} \right] = 2A \cos kx \sin (\omega t - kl)$$

$$A_p = 2A \cos 2\pi \left(\frac{x}{l} \right) = 2A \cos kx$$

Letak perut :

Perut, amplitudo terbesar, yakni $2A$ terjadi bila $\cos \frac{2\pi}{l} x = \pm 1$.

Dalam hal ini, $\cos \frac{2\pi}{l} x = \cos(\pi n)$ atau $\frac{2\pi}{l} x = n\pi$

$x = n \left(\frac{l}{2} \right)$ dengan $n=0, 1, 2, \dots$

Jadi perut terjadi untuk $x=(\text{bilangan bulat}) \times \frac{1}{2}l$, yaitu pada posisi $x=0$,

$\frac{1}{2}l, l, \frac{3}{2}l, \dots$ dari titik pantul.

Letak simpul :

Simpul, amplitudo 0, terjadi bila $\cos \frac{2\pi}{l}x = 0$, dalam hal ini

$$\cos \frac{2\pi}{l}x = \cos(2n+1)\frac{\pi}{2} \text{ atau } \frac{2\pi}{l}x = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

$$x = (2n+1)\frac{1}{4}l, \text{ dengan } n=0, 1, 2, \dots$$

Jadi simpul terjadi bila $x=(\text{bilangan ganjil}) \times \frac{1}{4}l$, yaitu pada posisi :

$$x = \frac{1}{4}l, \frac{3}{4}l, \frac{5}{4}l, \dots \text{ dari titik pantul.}$$

Gelombang Stasioner dengan Kedua Ujung Terikat

$$Y_p = 2A \sin 2\pi \left(\frac{x}{l} \right) \cos 2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{l}{x} \right] = 2A \sin kx \sin(\omega t - kl)$$

$$A_p = 2A \sin 2\pi \left(\frac{x}{l} \right) = 2A \sin kx$$

Letak perut :

Perut, amplitude terbesar, yakni $2A$ terjadi bila $\sin \frac{2\pi}{l}x = \pm 1$.

Dalam hal ini, $\sin \frac{2\pi}{l}x = \sin(\pi n)$ atau $\frac{2\pi}{l}x = (2n+1)\frac{\pi}{2}$

$$x = n\left(\frac{1}{2}l\right) \text{ dengan } n=0, 1, 2, \dots$$

$$x = (2n+1)\frac{1}{4}l, \text{ dengan } n=0, 1, 2, \dots$$

Jadi perut terjadi bila $x = (\text{bilangan ganjil}) \times \frac{1}{4}l$, yaitu pada posisi $x = \frac{1}{4}l, \frac{3}{4}l, \frac{5}{4}l, \dots$ dari titik pantul.

Letak simpul :

Simpul, amplitudo 0, terjadi bila $\sin \frac{2\pi}{l}x = 0$, dalam hal ini

$$\sin \frac{2\pi}{l}x = \sin(n\pi) \text{ atau } \frac{2\pi}{l}x = (n\pi)$$

$$x = n\left(\frac{1}{2}l\right) \text{ dengan } n=0, 1, 2, \dots$$

Jadi simpul terjadi bila $x = (\text{bilangan bulat}) \times \frac{1}{2}l$, yaitu pada posisi :

$$x = 0, \frac{1}{2}l, l, \frac{3}{2}l, \dots \text{ dari titik pantul.}$$

7. Jarak di antara simpul yang berdekatan = $l/2$ sehingga dalam sebuah tali yang panjangnya l , haruslah terdapat persis sebanyak n , di mana n adalah bilangan bulat.

$$n \cdot l/2 = l$$

$$l = 2l/n$$

8. Untuk mencari frekuensi gelombang angka yang terbaca pada light barrier dibagi dua terlebih dahulu, karena jumlah pulsa (N) yang terhitung adalah sebanyak 2 kali (naik dan turun).

Cara mengukur kecepatan propagasi gelombang pada praktikum adalah dengan mengalikan f dengan l .

9. Sifat dualisme dari cahaya menyebabkan terjadinya asas ketidakpastian Heisenberg karena kadang-kadang sifat partikel dari cahaya lebih dominan daripada sifat gelombangnya, kadang-kadang sebaliknya pula.

Pada saat sifat partikel lebih dominan, akan dihasilkan gelombang yang pendek.

Pada saat sifat gelombang lebih dominan, akan dihasilkan gelombang yang panjang.

Pada saat gelombang pendek, posisi partikel dapat ditentukan dengan pasti.

Sedangkan pada saat gelombang panjang, posisi partikel tidak dapat ditentukan dengan tepat.

Sehingga, terjadilah asas ketidakpastian Heisenberg.

10. – Lihat Kesimpulan --

V. Kesimpulan

Pengukuran Frekuensi (Tabel 2.1)

- Letak osilator (hampir) tidak mempengaruhi waktu yang terukur, untuk jumlah gelombang yang sama.
- Dengan demikian, letak osilator juga tidak berpengaruh terhadap frekuensi.

Pengukuran Kecepatan Gelombang C_p (Tabel 2.2)

- Frekuensi berbanding lurus dengan N (jumlah pulsa selama t detik) dan berbanding terbalik dengan waktu.
- I berbanding terbalik dengan N .
- C_p berbanding lurus dengan I dan F .

Frekuensi Resonansi untuk Gelombang Stasioner Ujung Tetap (Tabel 2.3)

- fk berbanding lurus dengan n dan berbanding terbalik dengan t .
- I berbanding terbalik dengan L .

Frekuensi Resonansi untuk Gelombang Stasioner Ujung Bebas (Tabel 2.4)

- t dipengaruhi oleh N .
- fk berbanding lurus dengan n .