

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Ilahirabbi, atas terselesainya buku ajar Fisika Klasik. Materi buku ajar ini kami ambil dari beberapa buku yang terkait dengan matakuliah yang dimaksud, untuk keluasan materi diharapkan mahasiswa juga membaca buku rujukan.

Tinjauan materi ditekankan pada sifat-sifat gelombang, sementara untuk hal-hal yang lebih khusus dari gelombang adalah getaran. Artinya tinjauan getaran pada cakupan satu dimensi, sedangkan gelombang cakupannya dua dimensi sementara untuk optik tinjauannya pada cahaya sebagai gelombang yang mempunyai sifat interverensi dan difraksi saja. Di akhir materi disajikan beberapa soal yang dapat membantu mahasiswa lebih memahami persoalan getaran, gelombang, dan optik

Kami ucapkan terimakasih pada semua pihak yang telah membantu baik dalam bentuk diskusi maupun koreksi terhadap draf buku ajar ini, kepada dosen yang telah memberi masukan dan mahasiswa yang telah membantu penyempurnaan buku ajar ini.

Mudah-mudahan buku sederhana ini dapat bermanfaat bagi mereka yang ingin mendalami materi-materi fisika, khususnya fisika klasik . Apabila ada yang kurang berkenan penulis mohon maaf, terima kasih.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
BAB I : OSILASI	1
1.1. PENDAHULUAN	1
1.2. Osilator Harmonik Sederhana (OHS)	2
2.1. Tinjauan Energi dalam Gerak Harmonik Sederhana	14
2.2. Hubungan Gerak Harmonik Sederhana dengan Gerak Melingkar Beraturan.	15
2.3. Superposisi Gerak Harmonik Sederhana.	16
2.4. Sistem Osilasi Bergandeng.	18
3. PENERAPAN GETARAN SELARAS SEDERHANA	21
3.1. Bandul (ayunan) Sederhana.	21
3.2. Ayunan Puntiran.	24
3.3. Bandul/Ayunan Fisis	26
SOAL- SOAL;	28
BAB II : GETARAN HARMONIS TEREDAM	31
Soal-soal;	36
BAB III : GERAK GELOMBANG	38
3.1. Pendahuluan	38
3.2. Deskripsi Gerak Gelombang	40
3.3. Persamaan Umum Gerak Gelombang	46

3.4. Gelombang Elastis di Dalam Batang Padat Dan Suatu Gas.	48
3.5. Gelombang Tekanan Di Dalam Suatu Kolom Gas.	54
3.6. Gelombang Transversal Dalam Suatu Dawai.	59
3.7. Gelombang Elastis Transversal Di Dalam Batang.	61
3.8. Gelombang Permukaan Pada Cairan.	64
SOAL-SOAL;	68
BAB IV : GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK	71
4.1 Pendahuluan.	71
4.2 Gelombang Elektromagnetik Datar.	72
4.3. Energi dan Momentum suatu Gelombang Elektromagnetik.	82
4.4. Radiasi dari Dipol yang Berosilasi.	89
a. Radiasi dipol listrik.	89
b. Radiasi dipol Magnetik.	93
4.5. Radiasi dari suatu Muatan yang dipercepat.	100
4.6. Spektrum Radiasi Elektromagnetik.	105
SOAL-SOAL.	114
BAB V : INTERFERENSI DAN DIFRAKSI	116
5.1. INTERFERENSI.	116
5.2. DIFRAKSI.	122
SOAL-SOAL.	124
DAFTAR BACAAN	125

BAB I

OSILASI

1.1. PENDAHULUAN

Setiap gerak yang berulang dalam selang waktu yang sama disebut gerak periodic. Partikel yang bergerak periodic selalu dapat dikatakan dalam fungsi sinus atau cosinus. Karena pernyataan yang memuat fungsi ini diberi istilah harmonic, maka gerak periodic dapat dikatakan merupakan gerak yang harmonic.

Apabila sebuah partikel dalam gerak periodic bergerak bolak-balik bergerak bolak-balik melalui lintasan yang sama, geraknya disebut gerak osilasi atau vibrasi (getaran). Osilasi mengacu pada pergerakan bolak-balik yang berulang-ulang antara dua posisi atau keadaan. Beberapa contoh osilasi antara lain: gerak pendulum berayun, arus bolak-balik, dan gelombang suara. Banyak benda berosilasi yang gerak bolak-baliknya tidak tepat sama karena adanya gaya gesekan yang melepaskan energi geraknya. Dawai biola akhirnya berhenti bergetar dan bandul akhirnya berhenti berayun. Gerak semacam ini disebut dengan gerak harmonic teredam (damped oscilation).

Untuk menggambarkan dan menjelaskan osilasi maka digunakan dua besaran berbeda namun saling berhubungan, yaitu periode dan frekuensi. Periode (T) suatu gerak harmonik adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu lintasan lengkap dari geraknya, yaitu satu lintasan penuh atau satu putaran (cycle). Periode termasuk besaran waktu dan diukur dalam detik. Sedangkan frekuensi gerak (f) adalah banyaknya getaran tiap satu satuan waktu. Frekuensi diukur dalam hertz (Hz). Secara matematis, Frekuensi adalah kebalikan dari periode dan sebaliknya, yaitu $f = 1/T$ dan $T = 1/f$. Dengan kata lain, jika periode digandakan, frekuensinya menjadi setengahnya, dan sebaliknya.

1.2. Osilator Harmonik Sederhana (OHS)

Osilator harmonik sederhana (OHS) merupakan salah satu jenis gerak periodik yang dialami suatu benda akibat adanya gaya pemulih. Gerakannya sinusoidal terhadap waktu dan menunjukkan frekuensi resonansi tunggal. Osilator harmonik sederhana adalah osilator yang tidak digerakkan dan tidak teredam. Beberapa contoh osilator harmonik sederhana antara lain massa pada pegas dan pendulum. Gerak harmonik sederhana diatur oleh gaya restorative. kajian OHS berguna

dalam memahami karakteristik gelombang bunyi, gelombang cahaya, dan arus bolak-balik.

Tinjau sebuah partikel yang bergerak atau berosilasi disekitar titik setimbang melalui energi potensial yang berubah-ubah menurut;

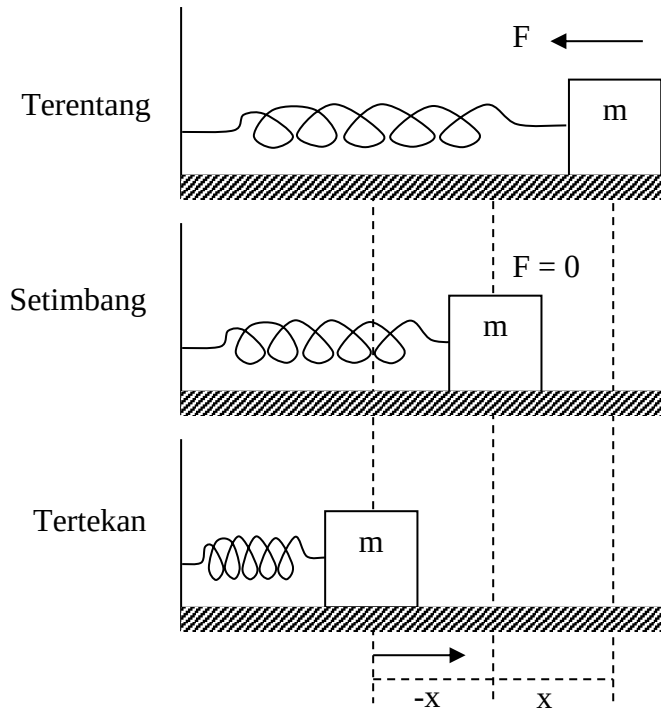
$$E_p(x) = \frac{1}{2} k x^2$$

Gaya yang bekerja pada partikel diformulasikan;

$$F(x) = - \frac{du}{dx} = - \frac{d(\frac{1}{2} k x^2)}{dx} = -kx$$

Partikel yang berosilasi demikian di sebut osilator harmonik sederhana (simple harmonic oscilation).

Gerak harmonik sederhana batas osilasinya berjarak sama terhadap titik seimbangny. Besarnya simpangan maksimum, yaitu X disebut amplitude gerak harmonik sederhana, dan selalu berharga positif. Gerak harmonik sederhana dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini.



Jadi sebuah benda bermassa m yang diikatkan pada pegas ideal dengan konstanta gaya k dan bebas bergerak dipermukaan horisontal tanpa gesekan merupakan salah satu contoh osilator harmonis sederhana. Di dalam hal ini gaya yang bekerja adalah gaya pemulih yang arahnya menuju ke keadaan seimbang.

Di dalam hukum Newton II ditetapkan $F = dp/dt = mdv/dt = ma$. Padahal gaya pemulih untuk pegas $F = -kx$; dalam

keadaan seimbang maka gaya Newton haruslah sama dengan gaya pemulih, sehingga rumusannya menjadi;

$$-kx = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad \text{atau} \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan karakteristik dari gerak osilator harmonis sederhana dalam bentuk persamaan differensial.

Untuk menentukan persamaan gerak harmonis sederhana terlebih dahulu harus dicari penyelesaiannya untuk persamaan gerak harmonis sederhana.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

Persamaan ini memberikan hubungan antara fungsi waktu $x(t)$ dan turunan keduanya terhadap waktu; $\frac{d^2x}{dt^2}$. Untuk menentukan posisi partikel sebagai fungsi waktu haruslah dicari dari jawab umum dari persamaan differensial orde dua tersebut.

Untuk menentukan posisi $x(t)$ yang memenuhi persamaan differensial orde dua tersebut dapat dilakukan dengan dua cara;

A. Cara induktif

$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$, dapat kita tuliskan dalam bentuk

$-kx = m \frac{d^2x}{dt^2}$ dari persamaan ini dapat kita antisipasi bahwa

$x(t)$ haruslah merupakan fungsi yang turunan keduanya merupakan fungsinya sendiri, kemudian dikalikan dengan factor konstanta k/m . Dari kalkulus kita ketahui bahwa fungsi – fungsi yang memenuhi persamaan tersebut hanyalah fungsi sinus atau fungsi cosinus.

$$\frac{d \cos t}{dt} = -\sin t$$

$$\frac{d^2 \cos t}{dt^2} = -\frac{d \sin t}{dt} = -\cos t$$

Sifat ini tidak akan berubah jika fungsi cosinus ini dikalikan dengan sebuah konstanta A . Demikian juga dengan fungsi Sinus.

Misalnya fungsi yang dimaksud adalah;

$$X(t) = A \cos(wt + \theta)$$

Maka; $\frac{dx}{dt} = -wA \sin(wt + \theta)$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -w^2 A \cos(wt + \theta)$$

Substitusikan ke persamaan karakteristik ;

$$- \omega^2 A \cos(\omega t + \theta) + \frac{k}{m} A \cos(\omega t + \theta) = 0$$

Dari persamaan tersebut jika dipilih; $\omega^2 = \frac{k}{m}$, maka $X(t) = A$

$\cos(\omega t + \theta)$,

akan memenuhi persamaan gerak harmonis sederhana.

B. Cara deduktif

Dari persamaan $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$, persamaan

karakteristiknya dapat dinyatakan;

$$e^{Dt} \left(D^2 + \frac{k}{m} \right) = 0$$

$$\frac{d^2}{dt^2} + \frac{k}{m} = 0; \text{ dimana } \frac{d}{dt} = D, \quad e^{Dt} \neq 0$$

$$D = \pm \sqrt{-\frac{k}{m}} = \pm i \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Maka solusi umumnya adalah;

$$X(t) = C_1 e^{i \sqrt{\frac{k}{m}} t} + C_2 e^{-i \sqrt{\frac{k}{m}} t}$$

$$\begin{aligned}
&= C_1 \left(\cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + i \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \right) + C_2 \left(\cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - i \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \right) \\
&= (C_1 + C_2) \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + i (C_1 - C_2) \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t
\end{aligned}$$

Misalnya ; $C_1 + C_2 = C_3$ dan $i (C_1 - C_2) = C_4$, maka;

$$\begin{aligned}
X(t) &= C_3 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + C_4 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \\
&= \sqrt{C_3^2 + C_4^2} \left\{ \left(\frac{C_3}{\sqrt{C_3^2 + C_4^2}} \right) \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + \left(\frac{C_4}{\sqrt{C_3^2 + C_4^2}} \right) \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \right\}
\end{aligned}$$

$$\text{Jika } \left(\frac{C_3}{\sqrt{C_3^2 + C_4^2}} \right) = \cos \theta \text{ dan } \left(\frac{C_4}{\sqrt{C_3^2 + C_4^2}} \right) = \sin \theta,$$

maka diperoleh;

$$X(t) = \sqrt{C_3^2 + C_4^2} \left(\cos \theta \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - \sin \theta \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \right)$$

$$= \sqrt{C_3^2 + C_4^2} \cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t + \theta \right)$$

Jika $\sqrt{C_3^2 + C_4^2} = A$; $\frac{k}{m} = \omega^2$, maka; $X(t) = A \cos(\omega t + \theta)$

Sehingga persamaan umum gerak harmoniknya adalah;

$$X(t) = A \cos(\omega t + \theta)$$

Konstanta A dan θ dapat berharga sebarang, sehingga berapapun nilai A dan θ penyelesaian persamaan diatas tetap memenuhi persamaan gerak harmonic. Hal ini memungkinkan adanya beragam gerak yang memiliki cirri-ciri yang sama. Untuk beberapa macam getaran selaras ini harus tetap, A dan θ boleh berbeda.

Jika waktu t dalam persamaan umum gerak harmonic ditambahkan dengan $\frac{2\pi}{\omega}$, maka fungsinya menjadi;

$$X(t) = A \cos \left(\omega \left(t + \frac{2\pi}{\omega} \right) + \theta \right)$$

$$X(t) = A \cos(\omega t + 2\pi + \theta)$$

$$X(t) = A \cos(\omega t + \theta)$$

Dengan demikian berarti fungsi tersebut berulang kembali setelah waktu $\frac{2\pi}{\omega}$, yang merupakan periode geraknya, T .

Karena $\omega^2 = \frac{k}{m}$, maka kita dapatkan;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Jadi semua gerak yang diberikan dalam persamaan mempunyai periode osilasi yang sama, ditempuh oleh massa m partikel yang berosilasi dan konstanta k pegas. Frekuensi f dari osilator tersebut adalah banyaknya getaran lengkap tiap satuan waktu,

dengan persamaan; $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

Jadi; $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ disebut frekuensi sudut (angular frequency) dengan satuan radian/detik.

Fungsinya sinus memiliki harga -1 sampai 1 , dengan demikian simpangan $x = 0$; A dinamakan amplitudo untuk gerak yang bersangkutan, karena θ belum ditetapkan pada persamaan diferensial di atas maka masih mungkin terdapat gerak dengan berbagai harga amplitudo, tetapi periode dan frekuensinya sama. Frekuensi gerak harmonik sederhana tidak tergantung pada amplitudo geraknya.

Besaran $(\omega t + \theta)$ disebut fase gerak, konstanta θ disebut konstanta fase. Amplitudo A dan konstanta fase θ suatu osilasi ditentukan oleh posisi dan laju awal partikel. Sekali gerak ini dimulai, partikel akan terus berosilasi pada frekuensi tertentu dengan amplitude geraknya dan konstanta fase yang tetap. Dua gerak dapat mempunyai amplitude dan frekuensi yang sama, tetapi fasenya berlainan.

Ciri lain dari gerak harmonik sederhana adalah adanya hubungan antara simpangan, kecepatan dan percepatan dari partikel yang berosilasi. Grafik di bawah ini menggambarkan grafik simpangan $x(t)$ terhadap waktu T , kecepatan $v(t) = \frac{dx}{dt}$

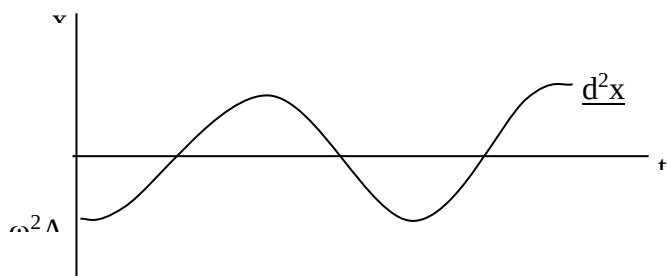
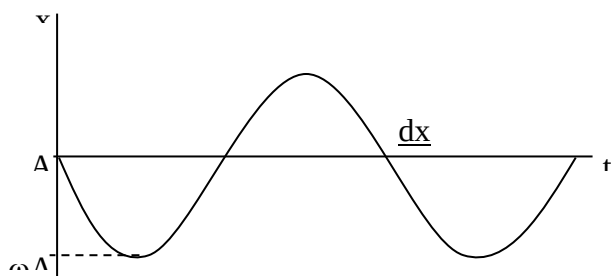
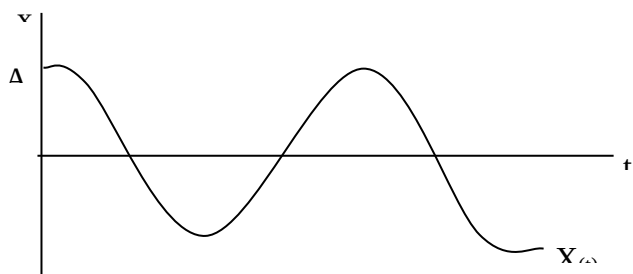
terhadap waktu dan percepatan $a(t) = \frac{d^2x}{dt^2}$ terhadap waktu.

Persamaan-persamaan untuk kurva tersebut adalah;

$$X(t) = A \cos(\omega t + \theta)$$

$$V(t) = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \theta)$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \theta)$$



Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa simpangan maksimum adalah A , laju maksimum $w A$ dan percepatan maksimum $w^2 A$.

Contoh Soal;

Sebuah partikel bergerak harmonik sederhana dengan amplitudo 1,5 m dan frekuensi getarnya 100 Hz. Tentukan a) sudut fase, b) kecepatan sudut, c) kecepatan, d) percepatan jika perpindahannya pada saat simpangannya 0,75 m.

Jawab:

Persamaan umum getarannya; $X(t) = A \cos(wt + \theta)$

Syarat batas pada saat $t = 0$, $X(t) = 0,75$

a) Sehingga ; $0,75 = 1,5 \cos \theta$, jadi besarnya $\theta = \arccos \frac{1}{2} = 60^\circ$

b) Kecepatan sudut $(w) = 2 \pi f = 200 \pi \text{ rad/det}$

c) Kecepatan $V(t) = \frac{dx}{dt} = -w A \sin 60 = -200 \pi (1,5)$
 $0,867 = 260 \pi \text{ m/det}$

d) Percepatan $a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -w^2 A \cos 60 = -(200 \pi (1,5))^2 0,5 \text{ m/det}^2$

2.1. Tinjauan Energi dalam Gerak Harmonik Sederhana

Energi mekanik E_m untuk partikel yang berosilasi adalah jumlah energi kinetik dan energi potensial, sehingga dirumuskan $E_m = E_k + E_p$. Pada gerak harmonik sederhana, jika tidak ada gaya disipatif yang bekerja, maka energi mekaniknya selalu konstan.

Untuk gerak harmonik sederhana yang simpangannya $X(t) = A \cos(\omega t + \theta)$; energi potensial E_p setiap saat adalah;

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} k x^2 \\ &= \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega t + \theta) \end{aligned}$$

Energi potensial memiliki harga maksimum $\frac{1}{2} k A^2$. Selama geraknya energi potensial berubah-ubah diantara harga nol dan harga maksimum ini.

Energi kinetik E_k pada setiap saat adalah $\frac{1}{2} m v^2$. Dengan menggunakan hubungan;

$$\begin{aligned} V(t) = \frac{dx}{dt} &= -\omega A \sin(\omega t + \theta) \text{ dan } \omega^2 = \frac{k}{m} \text{ diperoleh;} \\ E_k &= \frac{1}{2} m v^2 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \theta)$$

Jadi energi kinetic juga mempunyai harga maksimum $\frac{1}{2} k A^2$ atau $\frac{1}{2} m \omega^2 A^2$. Selama geraknya energi kinetic ini berubah-ubah dari nol sampai harga maksimum ini.

2.2. Hubungan Gerak Harmonik Sederhana dengan Gerak Melingkar Beraturan.

Getaran harmonik sederhana merupakan proyeksi gerak melingkar beraturan pada satu garis tengahnya. Sebuah partikel bergerak sepanjang lingkaran berjari-jari A dengan kecepatan sudut ω konstan dengan titik acuan pada sumbu- x . Pada saat $t = 0$ sudut yang dibentuk θ , t detik kemudian sudut yang dibentuk $(\omega t + \theta)$. Karena partikel bergerak dengan kecepatan sudut konstan, maka koordinat- x partikel tersebut pada saat tertentu adalah;

$$X(t) = A \cos(\omega t + \theta)$$

$$V_x(t) = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \theta)$$

$$a_x(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \theta)$$

jika titik acuan terletak pada sumbu $-y$, maka;

$$Y(t) = A \cos(\omega t + \theta)$$

$$V_y(t) = \frac{dy}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \theta)$$

$$a_y(t) = \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \theta)$$

Jika salah satu komponen berada pada simpangan maksimum maka komponen yang lain berada dititik seimbang. Jika kedua komponen ini digabungkan maka;

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

2.3. Superposisi Gerak Harmonik Sederhana.

Superposisi getaran merupakan perpaduan dua buah getaran atau lebih yang masing-masing bebas. Terdapat empat macam superposisi, yaitu;

A. Dua OHS yang mempunyai konstanta fase dan frekuensi sama.

$$X_1(t) = A_1 \cos(wt + \theta)$$

$$X_2(t) = A_2 \cos(wt + \theta)$$

$$X(t) = (A_1 + A_2) \cos(wt + \theta)$$

B. Dua OHS yang mempunyai frekuensi sama dan konstanta fase berbeda.

$$X_1(t) = A_1 \cos(wt + \theta_1)$$

$$X_2(t) = A_2 \cos(wt + \theta_2)$$

$$X(t) = A_r \cos(wt + \theta_r)$$

Apabila ; $t = 0$, maka $X(t) = A \cos \theta_r$

$$= A_1 \cos \theta_1 + A_2 \cos \theta_2$$

$$wt = -\frac{\pi}{2}, \text{ maka } X(t) = A \cos(-\frac{\pi}{2} + \theta_r)$$

$$= A \left(\cos -\frac{\pi}{2} \cos \theta_r - \right.$$

$$\sin -\frac{\pi}{2} \sin \theta_r)$$

$$= A \sin \theta_r$$

$$= A_1 \sin \theta_1 + A_2 \sin \theta_2$$

Sehingga; $A^2 \cos^2 \theta_r = (A_1 \cos \theta_1 + A_2 \cos \theta_2)^2$

$$\frac{A^2 \sin^2 \theta_r = (A_1 \sin \theta_1 + A_2 \sin \theta_2)^2}{A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos (\theta_1 - \theta_2)}$$

$$\operatorname{tgn} \theta_r = \frac{A_1 \sin \theta_1 + A_2 \sin \theta_2}{A_1 \cos \theta_1 + A_2 \cos \theta_2}$$

C. Dua OHS yang mempunyai frekuensi berbeda

$$X_1(t) = A_1 \cos (w_1 t)$$

$$X_2(t) = A_2 \cos (w_2 t)$$

$$X(t) = A_r \cos (w_r t_r)$$

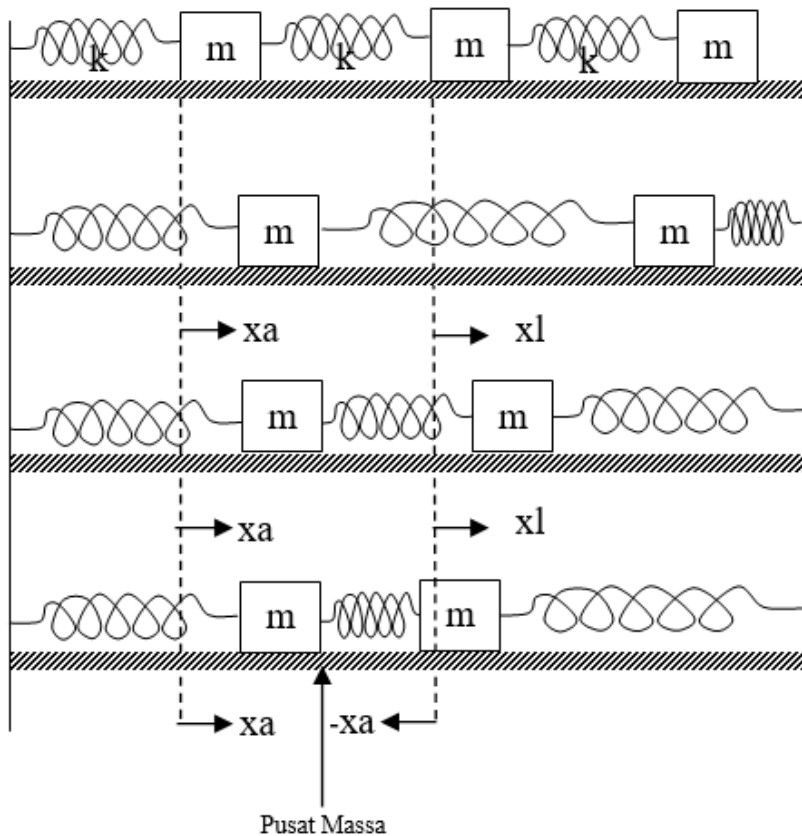
Dengan cara yang sama seperti B, diperoleh;

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos (w_1 - w_2) t$$

$$\operatorname{tgn} \theta_r = \frac{A_1 \sin w_1 t + A_2 \sin w_2 t}{A_1 \cos w_1 t + A_2 \cos w_2 t}$$

2.4. Sistem Osilasi Bergandeng.

Tinjau osilator dari suatu gandingan pegas identik seperti pada gambar dibawah ini;



- a. kedudukan setimbang
- b. kedudukan umum
- c. kedudukan normal I; gerak pusat massa tanpa gerak relative
- d. kedudukan normal II; gerak relative tanpa gerak pusat massa.

Berdasarkan gambar diatas (b) dapat dituliskan persamaan gerak untuk benda a dan b secara terpisah sebagai berikut;

$$m \frac{d^2 x_a}{dt^2} = -k x_a + k(x_b - x_a)$$

$$m \frac{d^2 x_b}{dt^2} = -k x_b + k(x_a - x_b)$$

Kedua persamaan differensial di atas jelas tidak bebas satu sama lain (coupled). Namun jumlah kedua persamaan diatas menghasilkan persamaan;

$$m \frac{d^2 (x_a + x_b)}{dt^2} = -k(x_a - x_b)$$

Sedangkan selisihnya menghasilkan;

$$m \frac{d^2 (x_a - x_b)}{dt^2} = -3k(x_a - x_b)$$

Dengan definisi koordinat normal;

$$X_1 = X_a + X_b = 2 \times \text{kedudukan pusat massa} = 2 x$$

$$X_2 = X_a - X_b = \text{kedudukan relative}$$

Maka system persamaan differensial diatas masing-masing melukiskan secara terpisah osilasi pusat masa system dan osilasi kedudukan relatifnya. Kedua persamaan tersebut tidak saling mempengaruhi, dan memiliki penyelesaian terpisah sebagai berikut;

$$X_1 = A_1 \cos (w_1 t + \theta_1); w_1 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$X_2 = A_2 \cos (w_2 t + \theta_2); w_2 = \sqrt{3\frac{k}{m}}$$

Kedua ragam osilasi normal ini diperlihatkan dalam gambar (c) dan (d). Gerak osilasi seluruh system dapat dipandang sebagai superposisi dari kedua osilasi harmonis normal yang bebas linier. Perhatikan bahwa gerak ragam pertama memiliki frekuensi karakteristik (w) yang sama dengan frekuensi osilator tunggal terpisah. Kehadiran pegas penggandeng hanya berfungsi melakukan sinkronisasi gerak kedua osilator tersebut.

3. PENERAPAN GETARAN SELARAS SEDERHANA

3.1. Bandul (ayunan) Sederhana.

Bandul sederhana (simple pendulum) adalah benda ideal yang terdiri dari sebuah titik massa yang digantungkan pada sebuah tali yang ringan dan tidak bertambah panjang. Jika benda ditarik kesamping dari posisi setimbangnya, kemudian dilepaskan maka ia akan berayun bolak-balik melalui titik setimbangnya, kemudian dilepaskan maka ia akan berayun bolak-balik melalui titik setimbangnya. Gerakan bandul ini

merupakan gerak osilasi secara periodic. Uraian gaya-gaya yang bekerja pada bandul dapat dilihat pada gambar dibawah ini;

Panjang tali misalnya l , massa partikel (titik massa) adalah m dan membentuk

Sudut θ dengan bidang vertical. Gaya

Yang bekerja pada m adalah gaya berat

Benda; $W = m \cdot g$. Sedangkan tegangan

Tali T . Karena gaya berat $m \cdot g$ dengan

Arah tegak lurus ke bawah, sedang gaya

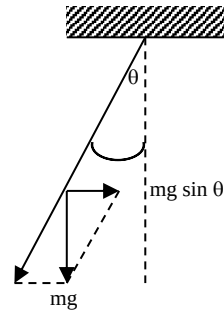
tegangan tali membentuk sudut θ maka gaya berat benda dapat diuraikan menjadi

$m g \cos \theta$ dan $m g \sin \theta$, dimana $m g \cos \theta$ melawan gaya tegangan tali T dan

$m g \sin \theta$ merupakan gaya pemulih atau gaya elastis yang bekerja pada m untuk mengembalikan benda (massa) ke titik setimbangnya. Seperti halnya gerak osilasi pada pegas, gaya

pemulih pada ayunan sederhana ini juga bertanda negative yang artinya berlawanan arah dengan gerak benda. Jadi $F_{el} = - m g \sin \theta$; sudut θ dibuat kecil dengan tujuan agar geraknya

mendekati gerak lurus, maka $\sin \theta \propto \theta$, sehingga pergeseran sepanjang $x = l \theta$. Jadi $F_{el} = - m g \frac{x}{l}$; Pada hukum hooke $F_{el} =$



- k x pada ayunan sederhana . Jadi konstanta k pada hukum

$$\text{hooke} = \frac{m g}{l}; \text{ sehingga } F_{\text{el}} = - k x = - \frac{m g}{l} x$$

untuk menentukan posisi partikel sebagai fungsi waktu, dapat dicari sebagai berikut;

$$\text{Besarnya gaya yang bekerja pada partikel; } F = m a; F = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\text{Besarnya gaya elastis; } F_{\text{el}} = - \frac{m g}{l} x; \text{ sehingga kedua gaya}$$

$$\text{diperoleh } m \frac{d^2 x}{dt^2} = - \frac{m g}{l} x$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{m g}{l} x = 0$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = 0; \text{ jika } \frac{g}{l} = \omega^2$$

$$\text{maka } \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

$$\text{Jika } \frac{d^2}{dt^2} = D; D^2 x + \omega^2 x = 0; (D^2 + \omega^2) x = 0;$$

$$\text{Jadi ; } D^2 + \omega^2 = 0; D^2 = - \omega^2$$

$$\text{Sehingga; } D = \pm i \omega$$

$$\text{Akibatnya; } x = C_1 e^{-i \omega} + C_2 e^{+i \omega}$$

$$= C_1 (\cos \omega - i \sin \omega) + C_2 (\cos \omega + i \sin \omega)$$

$$= (C_1 + C_2) \cos w + (C_1 - C_2) i \sin w$$

$$= A \cos w + B i \sin w$$

Pada $x = 0$ (posisi setimbang); $w = \text{maksimum}$; maka $w \approx \frac{\pi}{2}$;

Sehingga persamaannya; $0 = A \cos \frac{\pi}{2} + B i \sin \frac{\pi}{2}$; $0 = A \cdot 0 +$

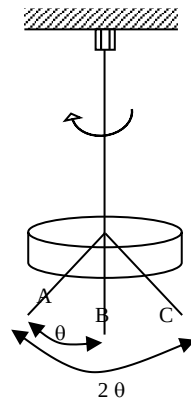
$B i \cdot 1$; jadi $B = 0$

Maka; $x = A \cos w$; karena w merupakan fungsi dari waktu, dan x tergantung pada θ_0 maka persamaan $x = A \cos w$, menjadi ; $x = A \cos (wt + \theta_0)$.

Jadi untuk menentukan posisi partikel sebagai fungsi waktu dapat dicari dengan persamaan; $x = A \cos (wt + \theta_0)$. Dengan persamaan ini dapat pula dicari frekuensi dan periode ayunan.

3.2. Ayunan Puntiran.

Bandul puntiran disini adalah sebuah piringan yang digantungkan oleh sebuah kawat yang dipasang pada pusat massa piringan. Untuk menentukan posisi setimbang dapat dilakukan Dengan menarik garis lurus dari titik pusat massa Piringan ke sisi piringan (titik B misalnya). Jika Piringan dirotasikan



dalam bidang horizontal C, kawat Akan memberikan gaya perlawanan yang kemudian Dianggap sebagai gaya pemulihnya, dalam hal ini Adalah torka. Untuk puntiran yang kecil, torka pemulihnya sebanding dengan banyaknya puntiran atau pergeseran sudut, sehingga menurut Hooke; $\sigma_{el} = -k \theta$.

Tanda negative menunjukkan bahwa torka tersebut berlawanan dengan simpangan sudut θ . Diketahui bahwa untuk gerak rotasi

berlaku; $\sigma = I\alpha = I \frac{d\omega}{dt} = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$; $F_{el} = \sigma$

Jadi; $I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -k \theta$; sehingga $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{k}{I} \theta = 0$; maka kita

dapatkan $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}}$

Dimana I adalah momen inersia yang besarnya $m r^2$, untuk menentukan posisi partikel sebagai fungsi waktu pada ayunan sederhana, dengan menggantikan; x dengan θ dan A dengan θ_m .

$X(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$

$\theta(t) = \theta_m \cos(\omega t + \varphi)$

Dimana ; θ = simpangan sudut

θ_m = simpangan sudut maksimum

ω = frekuensi sudut

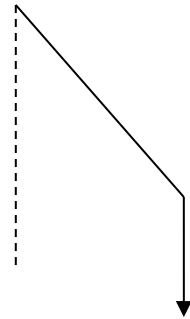
φ = konstanta fase (beda fase)

3.3. Bandul/Ayunan Fisis

Bandul fisis adalah suatu benda tegar yang digantungkan sehingga benda dapat berayun dalam bidang vertical terhadap sumbu yang melalui benda. Bandul fisis merupakan perluasan dari ayunan sederhana karena cara kerjanya sama dengan ayunan sederhana dan memenuhi persamaan gerak osilasi.

Benda pipih yang tak beraturan (lempengan benda) yang digantungkan pada pasak, merupakan contoh sederhana pada bandul fisis ini, seperti nampak pada gambar di bawah ini. Benda dipasak pada sumbu tanpa

Gesekan, kita tentukan titik P, kemudian Disimpangkan dari posisi setimbangnya Sebesar θ , jarak dari pasak ke pusat massa Adalah d, kelembamam rotasi benda terhadap Sumbu I dan massa benda M, maka torka Pemulihnya adalah; $\sigma = - M g d \sin \theta$



Nampak bahwa σ sebanding dengan $\sin \theta$, dan bukan θ ; sehingga syarat agar terjadi gerak harmonic tidak dipenuhi. Agar syarat tersebut dipenuhi, maka simpangan sudut θ dibuat kecil sehingga $\sin \theta \cong \theta$; dengan $\sigma = - M g d \sin \theta$, dan $\sigma = - k \theta$, maka

$k = M g d$, besarnya torka $\sigma = I \alpha$; dimana I = momen inersia;
 α = percepatan sudut.

$$\text{Jadi ; } I \alpha = -k \theta \quad ; \quad I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -k \theta \quad ; \quad I \frac{d^2\theta}{dt^2} + k \theta = 0 ;$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{k}{I} \theta = 0 \quad \text{pers. gerak osilasi bandul fisis}$$

Sehingga besaran ini menunjukkan $\omega^2 = \frac{k}{I}$, maka dapat diperoleh besaran f dan T ; dengan persamaan simpangan sudut
; $\theta(t) = \theta_m \cos(\omega t + \varphi)$

SOAL- SOAL;

1. Sebuah massa 25 gr, terikat pada pegas dengan konstanta 400 dyne/cm^2 dan gerak benda dimulai dari perpindahan sejauh 10 cm ke sebelah kanan, kecepatan benda 40 cm/det. Tentukanlah; Periode (T), Frekuensi (f), Frekuensi Sudut, Simpangan maksimum dan Persamaan gerak benda.
2. Dalam gerak harmonik sederhana, jika simpangannya setengah kali amplitudo;
 - a) berapa bagian energi total berupa energi kinetik dan berapa bagian berupa energi potensial.
 - b) Pada simpangan berapa setengah bagian berupa energi kinetik dan setengah bagian berupa energi potensial
3. Dua buah pegas disambungkan dan diujung pegas diikatkan sebuah benda. Jika lantai licin tanpa gesekan dan konstanta pegas masing-masing k_1 dan k_2 , buktikan bahwa frekuensi osilasi benda seberat m adalah;
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1 k_2}{(k_1 + k_2)m}}$$
4. Sebuah bandul panjangnya 20 cm dilepaskan dengan suatu kecepatan 0,5 rad/det arah ke garis vertikal, dari suatu posisi $1/5$ radial dari garis vertikal. Carilah persamaan geraknya.
5. Sebuah pegas sedemikian sehingga dapat merenggang 8 cm oleh sebuah massa 4 kg. Sebuah massa 10 kg diikatkan pada

pegas tersebut dan berosilasi hingga diam. Carilah persamaan geraknya apabila massa tersebut;

- a. ditarik ke bawah 8 cm kemudian dilepaskan
 - b. ditarik ke bawah 4 cm dan diberi kecepatan ke atas sebesar 0,5 m/det
 - c. ditarik ke bawah 6 cm dan diberi suatu kecepatan ke bawah 1 m/det
 - d. ditekan 6 cm ke atas dan dilepaskan
 - e. ditekan ke atas 8 cm dan diberi kecepatan ke atas sebesar 1,25 m/set
6. Balok bermassa 5 kg menarik pegas sejauh 24 cm dari posisi seimbangnya. Kemudian balok disingkirkan dan diganti dengan benda bermassa 0,50 kg. Jika pegas direntangkan dan kemudian dilepaskan, berapakah periode osilasinya.
7. Pada temperatur normal, frekuensi getaran atom dalam zat padat berada pada orde 10 Hz. Bayangkanlah bahwa atom-atom tersebut dihubungkan satu terhadap yang lainnya oleh pegas. Misalkan bahwa sebuah atom yang lainnya diam, hitunglah konstanta gaya dari sebuah pegasnya. Satu mole perak memiliki massa 108 gram dan memuat sebanyak $6,02 \cdot 10^{23}$ atom. Anggap atom-atom itu hanya berinteraksi dengan tetangga terdekatnya saja.

8. Sebuah balok terletak di atas permukaan horisontal yang bergerak harmonik sederhana horisontal dengan frekuensi 4 Hz. Koefisien gesekan statik antara balok dan bidang adalah 0,5. Berapakah besar amplitudo yang mungkin jika balok tidak tergelincir (slip) di atas permukaan itu.
9. Dua buah partikel melakukan gerak harmonik sederhana dengan amplitudo dan frekuensi sama sepanjang garis lurus yang sama pula. Keduanya berpapasan ketika bergerak dalam arah yang berlawanan pada saat simpangannya setengah kali amplitudonya. Berapakah selisih fase keduanya.
10. Sebuah bandul sederhana yang panjangnya 1 m menempuh osilasi lengkap dalam 204 detik di suatu tempat tertentu. Berapakah percepatan gravitasi di tempat itu.

gelombang sinar 9000 angstrom. Berapakah lebar celah tunggal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Alonso, Finn, Dasar-dasar Fisika Universitas, 1992, Penerbit Erlangga

Sutrisno, Fisika dasar, 1984, Penerbit ITB Bandung

Halliday R, Fisika, 1986, Penerbit Erlangga

Subani, Gejala Gelombang, 1982, Sub Proyek Penulisan Buku Pelajaran Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi IKIP Malang, Khusus untuk kalangan sendiri.

Fitzpatrick, Richard. (2019). "Oscillations and Waves: An Introduction," 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Serway, Raymond A.; Faughn, Jerry S. (1989). College Physics. *London: Thomson/Brooks-Cole.* ISBN 978-05344-0814-5.

Tipler, Paul (1998). *Physics for Scientists and Engineers: Vol. 1* (4th ed.). W. H. Freeman. ISBN 1-57259-492-6