

MODUL 04

OSILASI HARMONIK SEDERHANA (BANDUL FISIS)

1. TUJUAN

- 1.1 Menentukan percepatan gravitasi bumi,
- 1.2 Menentukan momen inersia sistem bandul.

2. ALAT DAN BAHAN

- 2.1 Bandul fisis yang terdiri dari dua keping logam berbentuk silinder yang dapat ditempatkan pada sebuah batang logam yang berlubang-lubang,
- 2.2 Meteran,
- 2.3 *Stopwatch*,
- 2.4 Neraca oland dan batu timbangan.

3. KONSEP DASAR

Dalam modul ini, akan ditinjau kasus yang lebih umum, dengan sistem ataupun benda yang terdiri dari banyak partikel (titik partikel) maupun benda yang terdiri dari partikel-partikel yang dianggap tersebar secara kontinu pada benda yang disebut dengan sistem partikel. Dalam suatu sistem partikel, dikenal titik pusat massa, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\vec{r}_{pm} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{M} \quad (4.1)$$

dengan \vec{r}_i adalah posisi partikel ke- i di dalam sistem, dan M adalah massa total sistem.

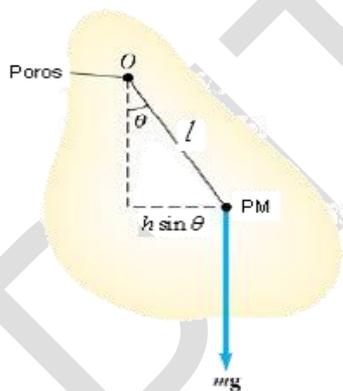
Dalam modul ini, akan dipelajari gerak suatu bandul yang bentuknya sembarang yang lazim disebut sebagai *bandul fisis*. Bandul fisis adalah bandul yang berosilasi secara bebas pada suatu sumbu tertentu dari suatu benda rigid (kaku) sembarang.

Berbeda dengan bandul matematis, bentuk, ukuran dan massa benda pada bandul fisis tidak bisa diabaikan dengan menganggapnya sebagai sebuah benda titik.

Jika sebuah benda digantungkan pada suatu poros O, kemudian diberi simpangan θ dan dilepaskan, maka benda itu akan berosilasi karena adanya torsi pemulih/momen gaya pemulih (suatu momen gaya yang selalu mengembalikan bandul pada kedudukan kesetimbangannya) sebesar:

$$-m g l \sin\theta$$

dengan: $m g$: gaya berat,
 $l \sin\theta$: panjang lengan,
 l : jarak antara poros ke pusat massa PM



Gambar 4.1. Ilustrasi Bandul fisis.

Ayunan yang terjadi pada bandul fisis dapat digolongkan sebagai gerak harmonik sudut (*angular harmonic motion*) jika momen gaya pulih sebanding dengan simpangan sudutnya. Hal ini dapat dianalogikan dengan gerak harmonik sederhana. Jika redaman diabaikan, maka persamaan gerak dari sistem bandul fisis ini adalah:

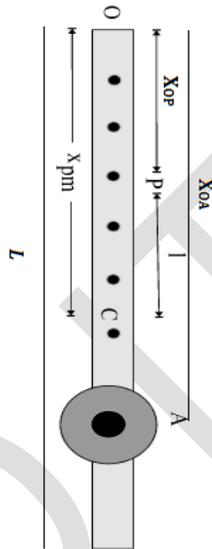
$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgl \sin\theta \quad (4.2)$$

dengan I merupakan momen inersia benda rigid yang dihitung terhadap titik poros. Jika simpangan kecil, maka $\sin\theta \approx \theta$, sehingga persamaan gerak berubah menjadi:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mgl}{I} \theta \approx 0 \quad (4.3)$$

Solusi dari persamaan ini adalah : $\theta = \theta_0 \sin \omega t$, dengan $\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}}$ atau perioda osilasi adalah sebesar :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (4.4)$$



Gambar 4.2. Bandul fisis pada eksperimen.

Gambar 4.2 di atas menunjukkan bandul fisis dengan pusat massanya di C dan poros horizontalnya melalui P. Dengan menggunakan persamaan (4.1), dapat diperoleh koordinat pusat massa (C) bandul fisis dengan bentuk seperti pada Gambar 4.2 adalah:

$$\begin{aligned} l = x_{pm} &= \sum_{i=0}^n \frac{m_i x_i}{m_{total}} \\ &= \frac{m_{batang} \frac{1}{2} L_{batang} + m_{keping} x_{OA}}{m_{batang} + m_{keping}} \end{aligned} \quad (4.5)$$

dengan x_i adalah posisi pusat massa benda ke- i yang massanya m_i .

Momen inersia terhadap sumbu ayunan dapat ditentukan dengan menggunakan dalil sumbu sejajar. Jika momen inersia terhadap sumbu melalui pusat massa (C) adalah I_0 dan ℓ adalah jarak C terhadap P, maka momen inersia terhadap sumbu yang melalui P adalah:

$$I = I_0 + ml^2 \quad (4.6)$$

maka perioda ayunan bandul fisis di atas menjadi :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ml^2}{mgl}} \quad (4.7)$$

Jika T_1 adalah perioda ayunan dengan jarak antara C terhadap P_1 adalah ℓ_1 dan T_2 adalah perioda ayunan dengan jarak antara C terhadap P_2 adalah ℓ_2 , maka percepatan gravitasi dapat ditentukan dengan mengeliminasi I_0 dari T_1 dan T_2 hasilnya adalah sebagai berikut :

$$g = 4\pi^2 \frac{(\ell_2^2 - \ell_1^2)}{(T_2^2 \ell_2 - T_1^2 \ell_1)} \quad (4.8)$$

4. LANGKAH PERCOBAAN

- 4.1. Ukur panjang batang logam dan diameter keping logam silinder. Timbanglah batang logam dan keping logam silinder beserta sekrup pengait secara terpisah.
- 4.2. Pasangkan keping logam pada batang di titik tertentu, lalu ukur jarak pusat keping dari ujung batang (X_{OA}).
- 4.3. Tentukan letak titik poros, lalu hitung jarak titik poros terhadap ujung batang (X_{OP}).
- 4.4. Ayunkan bandul fisis dengan simpangan sudut kecil, catat waktu yang diperlukan untuk 50 ayunan pertama (t').
- 4.5. Ayunkan bandul fisis dengan simpangan sudut kecil lagi, catat waktu yang diperlukan untuk 50 ayunan kedua (t'').
- 4.6. Catat jumlah ayunan n (100 ayunan) untuk waktu t' ditambah t'' lalu hitung periode T dengan persamaan.
- 4.7. Hitung pusat massa bandul fisis menggunakan persamaan (4.8).

- 4.8. Dapatkan nilai jarak pusat massa ke poros (l).
- 4.9. Ulangi eksperimen pengukuran waktu dan perhitungan pusat massa bandul fisis (langkah 4.3 sampai dengan 4.8) untuk letak titik poros yang berbeda (P_2 dan P_3).
- 4.10. Ulangi eksperimen (langkah 4.3 sampai dengan langkah 4.9) untuk eksperimen tanpa keping logam.

5. TUGAS ANALISIS

m_{batang} = kg
 $m_{\text{keping} + \text{sekrup}}$ = kg
 L_{batang} = m
 D_{keping} = m

Tabel 4.1 Data eksperimen
(menggunakan keping logam/tidak menggunakan keping).

No	X_{OP} (kg)	X_{OA} (kg)	X_{PM} (kg)	l (m)	t' (s)	t'' (s)	T (s)
1							
2							
3							

- 5.1 Hitunglah nilai percepatan gravitasi g menggunakan pers. (4.7) untuk pasangan data 1 dan 2, 2 dan 3, dan 1 dan 3.
- 5.2 Bandingkan hasil yang didapatkan dengan harga percepatan gravitasi di ITB ($9,78 \text{ m/s}^2$). Berilah ulasan dan penjelasan atas hasil yang diperoleh!
- 5.3 Apakah pengaruh letak titik poros dan keping silinder pada periode osilasi bandul fisis?
- 5.4 Mengapa sudut simpangan pada eksperimen bandul fisis ini harus kecil?
- 5.5 Bandingkan nilai yang didapatkan secara eksperimen dan secara perhitungan teori! Perhitungan secara teori menggunakan persamaan berikut :

$$I_0 = I_{batang.c} + I_{keping.c}$$

$$I_0 = \frac{1}{12} m_b L^2 + m_b (X_{pm} - 0.5L)^2 + \frac{1}{2} m_k r^2 + m_k (X_{OA} - X_{pm})^2$$

Berilah ulasan dan penjelasan atas hasil yang diperoleh!

6. PUSTAKA

Amend, Bill. (2011) : *Physics 16 Laboratory Manual*, Armhest College, 27 – 29.

Benson, H. (1991) : *University Physics*, John Wiley & Sons, Inc., 310 – 311.

Lenda, Andrzej. (2000) : *Physics Laboratory*, International School of Technology of Cracow, 1-1 – 1-4.

Loyd, David H. (2008) : *Physics Laboratory Manual*, Angelo University, 207 – 216.