

## Percobaan I

<b>Judul</b>	Pengukuran Dasar Mekanika menggunakan Sistem Internasional  Studi Kasus: Bandul Ayun (Pendulum sederhana)
<b>Alokasi Waktu Praktikum</b>	3 jam
<b>Tujuan</b>	Praktikan memahami dan menguasai cara menghitung, mengukur dan memodifikasi/konversi Pengukuran besaran-besaran dasar dalam Mekanika.
<b>Peralatan</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Test Rig</li><li>2. Bandul Ayun</li><li>3. Alat Ukur: berat, panjang, sudut, dan waktu</li><li>4. Lembar Kerja Analisa.</li></ol>

### I. Teori Dasar

#### Besaran (Kuantitas) Dasar dalam Mekanika

Empat besaran dasar berikut digunakan di bidang mekanika, yaitu

##### **Panjang, $l$**

Panjang digunakan untuk menentukan posisi suatu titik dalam ruang dan dengan demikian menggambarkan ukuran sistem fisik. Setelah satuan panjang standar didefinisikan, seseorang kemudian dapat menggunakannya untuk menentukan jarak dan sifat geometris benda sebagai kelipatan dari satuan ini.

##### **Waktu, $t$**

Waktu dipahami sebagai rangkaian peristiwa. Meskipun prinsip-prinsip statika tidak tergantung waktu, besaran ini memainkan peran penting dalam studi dinamika.

##### **Massa, $m$**

Massa adalah ukuran kuantitas materi yang digunakan untuk membandingkan aksi suatu benda dengan benda lain. Properti ini memanifestasikan dirinya sebagai daya tarik gravitasi antara dua benda dan memberikan ukuran resistensi materi terhadap perubahan kecepatan.

##### **Gaya (Force), $F$**

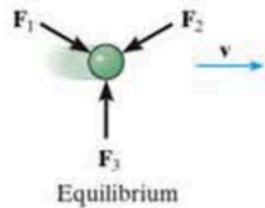
Secara umum, gaya dianggap sebagai "dorongan (*push*)" atau "tarikan (*pull*)" yang diberikan oleh satu benda ke benda lain. Interaksi ini dapat terjadi ketika ada kontak langsung antara

tubuh secara fisik, seperti orang yang mendorong dinding, atau dapat terjadi melalui jarak ketika tubuh terpisah secara fisik. Contoh dari jenis yang terakhir termasuk gaya gravitasi, listrik, dan magnet. Bagaimanapun, sebuah gaya sepenuhnya dicirikan oleh besarnya, arah, dan titik penerapannya.

## Hukum Newton

### Hukum Pertama.

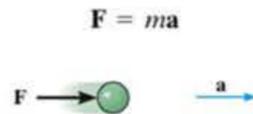
Sebuah partikel yang awalnya diam, atau bergerak dalam garis lurus dengan kecepatan konstan, cenderung tetap dalam keadaan ini asalkan partikel tersebut tidak dikenai gaya yang tidak seimbang,



Gambar 1.1: Keseimbangan

### Hukum Kedua.

Sebuah partikel yang dikenai gaya tak seimbang  $F$  mengalami percepatan  $a$  yang arahnya sama dengan gaya dan besarnya berbanding lurus dengan gaya.



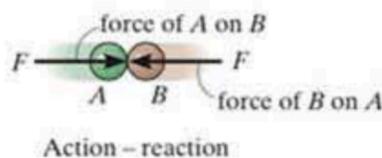
(Pers. 1.1)

Gambar 1.2: Ilustrasi jika  $F$  diterapkan pada partikel bermassa  $m$ .

$$F = ma, a = \text{akselerasi}$$

### Hukum Ketiga.

Gaya aksi dan reaksi timbal balik antara dua partikel adalah sama besar, berlawanan arah, dan segaris,



Gambar 1.3: Gaya A pada B sama dengan gaya B pada A

Dengan demikian, gaya tak seimbang yang bekerja pada partikel sebanding dengan laju perubahan momentum linier partikel terhadap waktu.

## Hukum Newton tentang Gaya Tarik Gravitasi.

Tak lama setelah merumuskan tiga hukum geraknya, Newton mendalilkan hukum yang mengatur gaya tarik gravitasi antara dua partikel, yang dinyatakan secara matematis,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (\text{Pers. 1.2})$$

di mana

$F$  = gaya gravitasi antara dua partikel

$G$  = konstanta gravitasi universal;

berdasarkan bukti eksperimental,  $G = 66,73(10-12) \text{ m}/(\text{kg}\cdot\text{s})$

$m_1, m_2$  = massa masing-masing dua partikel

$r$  = jarak antara dua partikel

### Berat, $W$

Berat atau Bobot.

Menurut Persamaan 1.2, setiap dua partikel atau benda memiliki gaya tarik menarik (gravitasi) yang bekerja di antara mereka. Dalam kasus partikel yang terletak di atau dekat permukaan bumi, bagaimanapun, satu-satunya gaya gravitasi yang memiliki besaran yang cukup besar adalah antara bumi dan partikel. Akibatnya, gaya ini, yang disebut berat, akan menjadi satu-satunya gaya gravitasi yang dipertimbangkan dalam studi kita tentang mekanika.

Dari Persamaan 1-2, kita dapat mengembangkan ekspresi perkiraan untuk menemukan berat  $W$  dari sebuah partikel yang memiliki massa  $m_1 = m$ . Jika kita menganggap bumi sebagai bola yang tidak berputar dengan kerapatan konstan dan memiliki massa  $m_2 = M_e$ , maka jika jarak antara pusat bumi dan partikel meningkat, kita memiliki

$$W = G \frac{m M_e}{r^2} \quad (\text{Pers. 3})$$

Dengan menyatakan  $g = GM_e / r_2$  maka dapat ditulis,

$$W = mg \quad (\text{Pers. 4})$$

Jika dibandingkan dengan  $F = ma$ , kita dapat melihat bahwa  $g$  adalah percepatan gravitasi. Karena bergantung pada  $r$ , maka berat suatu benda bukanlah besaran mutlak. Sebaliknya, besarnya ditentukan dari tempat pengukuran dilakukan. Namun, untuk sebagian besar perhitungan teknik,  $g$  ditentukan di permukaan laut dan pada garis lintang  $45^\circ$ , yang dianggap sebagai lokasi standar.

## Studi Kasus untuk Eksperimen Pengukuran:

### PENDULUM (Bandul Ayun)

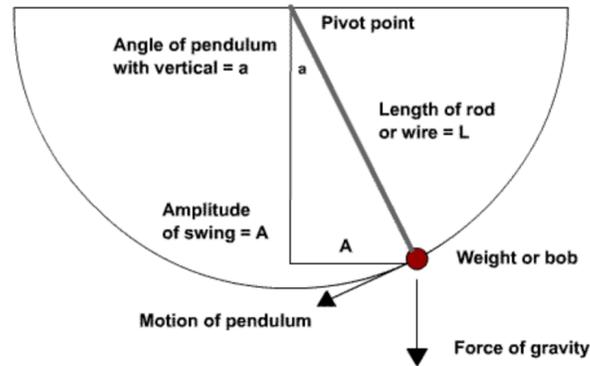
Faktor dan parameter yang terlibat dalam penghitungan frekuensi bandul sederhana seperti pada Gambar 2 berikut ini adalah panjang batang atau kawat, asalkan sudut awal

atau amplitudo ayunan kecil. Massa atau berat balok bukan merupakan faktor frekuensi bandul sederhana, tetapi percepatan gravitasi adalah faktornya.

Catatan: Ini berarti frekuensi dan periode akan berbeda di Bulan dengan di Bumi.

Dengan mengetahui panjang bandul, Anda dapat menentukan frekuensinya. Atau, jika Anda menginginkan frekuensi tertentu, Anda dapat menentukan panjang yang diperlukan.

Perhatikan gambar berikut ini.



**Gambar 1.4:** Ilustrasi Bandul Ayun sederhana

### Persamaan Periode Ayun

Periode gerak bandul adalah waktu yang diperlukan untuk mengayun ke kanan dan ke kiri, diukur dalam detik.

Persamaan periode bandul sederhana yang dimulai dari sudut kecil  $a$  (alfa) adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{Pers. 5})$$

di mana

$T$  adalah periode dalam detik (s)

$l$  adalah panjang batang atau kawat dalam meter atau kaki

$g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$  atau  $32 \text{ ft/s}^2$  di Bumi)

Jadi, jika  $l = 2$  meter:  $T = 2 * 3,14 * \sqrt{2/9,8} = 6,28 * 0,4517$

$T = 2,837$  detik atau dibulatkan menjadi  $T = 2,8$  dt.

### Persamaan Frekuensi Ayun

Frekuensi bandul adalah berapa banyak ayunan bolak-balik dalam satu detik, diukur dalam hertz. Frekuensi  $f$  adalah kebalikan dari periode  $T$ :

$$f = 1/T$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}}$$

Persamaan ini juga dapat disusun ulang menjadi:

$$f = \frac{\sqrt{g/l}}{2\pi}$$

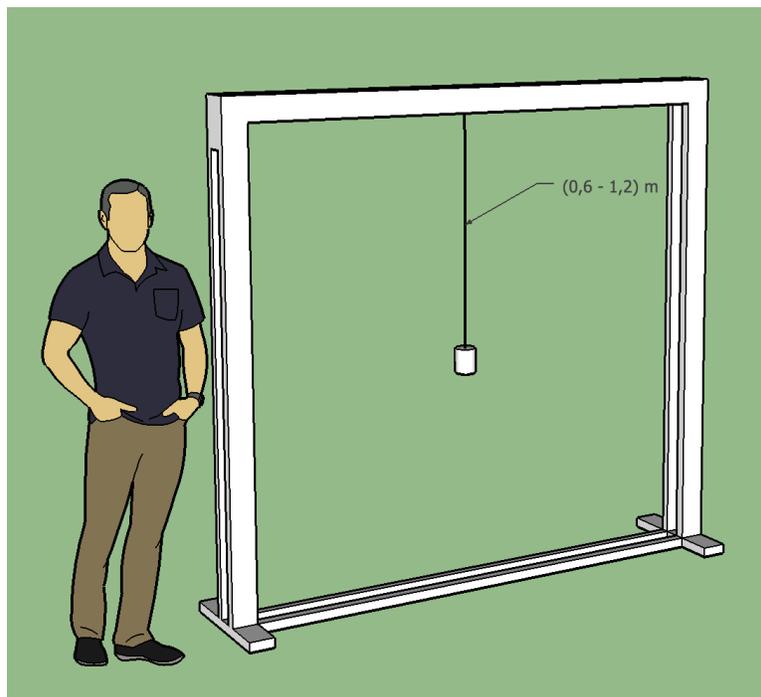
Jadi, jika  $l = 2$  meter,

$$\text{maka } f = \sqrt{9,8/2}/2 * 3,14 = \sqrt{4,9}/6,28 = 2,21/6,28 = 0,353 \text{ Hz.}$$

Dengan demikian Anda dapat menentukan panjang batang atau tali/kawat untuk frekuensi atau periode ayun tertentu.

## II. Modul Percobaan

Gambar 4 berikut memperlihatkan struktur utama untuk percobaan Bandul Ayun.



**Gambar 1.5:** Ilustrasi Modul Uji Bandul Ayun

Struktur rangka modul uji di atas terbuat dari rangka aluminum dengan dimensi kurang lebih seperti ilustrasi perbandingan dengan tinggi tubuh orang dewasa (170cm). Beban

bandul ayun pada dasarnya dapat ditentukan sendiri, namun dapat berkisar antara 100 gram hingga 1000 gram.

### III. Prosedur Percobaan

1. Siapkan Modul Ayun. Siapkan tali ayunan. Anda dapat menentukan sendiri posisi atau titik gantung beban pada bagian rangka atas. Pastikan tali pengikat cukup kuat dan tidak bergeser karena ayunan. Lakukan pengukuran panjang tali ayun yang dipersiapkan dengan variasi panjang antara 60 cm hingga 120 cm.
2. Siapkan beban ayun, setidaknya 5 macam beban dengan variasi berat yang berbeda-beda. Timbanglah berat beban ini dan catat dalam satuan SI (N)
3. Siapkan setidaknya 3 posisi awal ayun. Dapat mulai dari kanan ataupun kiri. Sudut awal ayun disarankan agar berada antara 30 hingga 60 derajat, baik dari kanan maupun kiri.
4. Siapkan alat pencatat waktu.
5. Buatlah ayunan dari posisi yang berbeda-beda. Catatlah lama ayunan-ayunan ini untuk tiap kali percobaan mengayun 10 kali.
6. Catat hasil-hasil percobaan dalam Tabel-1 berikut ini.

**Tabel-1: Hasil-hasil Percobaan**

**A. [ panjang tali,  $l$  = ..... cm ; ]**

No	Berat Beban Ayun (N)	Jumlah Ayunan	Durasi START-STOP (dt)	Frek Ayun terhitung
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**B. [ panjang tali,  $l = \dots\dots\dots$  cm ; ]**

No	Berat Beban Ayun (N)	Jumlah Ayunan	Durasi START-STOP (dt)	Frek Ayun terhitung
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**C. [ panjang tali,  $l = \dots\dots\dots$  cm ; ]**

No	Berat Beban Ayun (N)	Jumlah Ayunan	Durasi START-STOP (dt)	Frek Ayun terhitung
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**Tugas**

1. Buatlah Laporan Sementara dalam bentuk berkas PDF dan dikumpulkan melalui email atau gdrive.
2. Siapkan Laporan Resmi dengan analisa yg cukup.

## Referensi

- [1] Hibbeler, RC, 2010, Engineering Mechanics Statics, 12th ed.
- [2] Beer, FP & Jhonston, ER, 2016, Vector Mechanics for Engineer: Statics Dynamics, 11<sup>th</sup> ed.
- [3] Pratap, R. & Ruina, A., 2001, Introduction to Statics and Dynamics, Oxford University Press.

## Lampiran

### A. The Scalars in Mechanics [3]

#### 2.1 The scalars in mechanics

The scalar quantities used in this book, and their dimensions in brackets [], are listed below ( $M$  for mass,  $L$  for length,  $T$  for time,  $F$  for force, and  $E$  for energy).

- mass  $m$ , [ $M$ ];
- length or distance  $\ell, w, x, r, \rho, d$ , or  $s$ , [ $L$ ];
- time  $t$ , [ $T$ ];
- pressure  $p$ , [ $F/L^2$ ] = [ $M/(L \cdot T^2)$ ];
- angles  $\theta$  'theta',  $\phi$  'phi',  $\gamma$  'gamma', and  $\psi$  'psi', [dimensionless];
- energy  $E$ , kinetic energy  $E_K$ , potential energy  $E_p$ , [ $E$ ] = [ $F \cdot L$ ] = [ $M \cdot L^2/T^2$ ];
- work  $W$ , [ $E$ ] = [ $F \cdot L$ ] = [ $M \cdot L^2/T^2$ ];
- tension  $T$ , [ $M \cdot L/T^2$ ] = [ $F$ ];
- power  $P$ , [ $E/T$ ] = [ $M \cdot L^2/T^3$ ];
- the magnitudes of all the vector quantities are also scalars, for example
  - speed  $|\vec{v}|$ , [ $L/T$ ];
  - magnitude of acceleration  $|\vec{a}|$ , [ $L/T^2$ ];
  - magnitude of angular momentum  $|\vec{H}|$ , [ $M \cdot L^2/T$ ];
- the components of vectors, for example
  - $r_x$  (where  $\vec{r} = r_x \hat{i} + r_y \hat{j}$ ), or
  - $L_{x'}$  (where  $\vec{L} = L_{x'} \hat{i}' + L_{y'} \hat{j}'$ );
- coefficient of friction  $\mu$  'mu', or friction angle  $\phi$  'phi';
- coefficient of restitution  $e$ ;
- mass per unit length, area, or volume  $\rho$ ;
- oscillation frequency  $\beta$  or  $\lambda$ .

### B. The Vectors in Mechanics [3]

## 2.2 The Vectors in Mechanics

The vector quantities used in mechanics and the notations used in this book are shown below. The dimensions of each are shown in brackets [ ]. Some of these quantities are also shown in figure ??.

- position  $\vec{r}$  or  $\vec{x}$ , [L];
- velocity  $\vec{v}$  or  $\dot{\vec{x}}$  or  $\dot{\vec{r}}$ , [L/t];
- acceleration  $\vec{a}$  or  $\dot{\vec{v}}$  or  $\ddot{\vec{r}}$ , [L/t<sup>2</sup>];
- angular velocity  $\vec{\omega}$  'omega' (or, if aligned with the  $\hat{k}$  axis,  $\dot{\theta}\hat{k}$ ), [1/t];
- rate of change of angular velocity  $\vec{\alpha}$  'alpha' or  $\dot{\vec{\omega}}$  (or, if aligned with the  $\hat{k}$  axis,  $\dot{\theta}\hat{k}$ ), [1/t<sup>2</sup>];
- force  $\vec{F}$  or  $\vec{N}$ , [ $m \cdot L/t^2$ ] = [F];
- moment or torque  $\vec{M}$ , [ $m \cdot L^2/t^2$ ] = [F · L];
- linear momentum  $\vec{L}$ , [ $m \cdot L/t$ ] and its rate of change  $\dot{\vec{L}}$ , [ $m \cdot L/t^2$ ];
- angular momentum  $\vec{H}$ , [ $m \cdot L^2/t$ ]; and its rate of change  $\dot{\vec{H}}$ , [ $m \cdot L^2/t^2$ ].
- unit vectors to help write other vectors [dimensionless]:
  - $\hat{i}$ ,  $\hat{j}$ , and  $\hat{k}$  for cartesian coordinates,

- $\hat{i}'$ ,  $\hat{j}'$ , and  $\hat{k}'$  for crooked cartesian coordinates,
- $\hat{e}_r$  and  $\hat{e}_\theta$  for polar coordinates,
- $\hat{e}_t$  and  $\hat{e}_n$  for path coordinates, and
- $\hat{\lambda}$  'lambda' and  $\hat{n}$  as miscellaneous unit vectors.

Subscripts and superscripts are often added to indicate the point, points, body, or bodies the vectors are describing. Upper case letters (O, A, B, C, ...) are used to denote points. Upper case calligraphic (or script if you are writing by hand) letters ( $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{B}$ ,  $\mathcal{C}$ , ...  $\mathcal{F}$  ...) are for labeling rigid bodies or reference frames.  $\mathcal{F}$  is the fixed, Newtonian, or 'absolute' reference frame (think of  $\mathcal{F}$  as the ground if you are a first time reader).

For example,  $\vec{r}_{AB}$  or  $\vec{r}_{B/A}$  is the position of the point  $B$  relative to the point  $A$ .  $\vec{\omega}_{\mathcal{B}}$  is the absolute angular velocity of the body called  $\mathcal{B}$  ( $\vec{\omega}_{\mathcal{B}}$  is short hand for  $\vec{\omega}_{\mathcal{B}/\mathcal{F}}$ ). And  $\vec{H}_{\mathcal{A}/C}$  is the angular momentum of body  $\mathcal{A}$  relative to point  $C$ .

The notation is further complicated when we want to take derivatives with respect to moving frames, a topic which comes up later in the book. For completeness:  ${}^{\mathcal{B}}\dot{\vec{\omega}}_{\mathcal{D}/\mathcal{E}}$  is the time derivative with respect to reference frame  $\mathcal{B}$  of the angular velocity of body  $\mathcal{D}$  with respect to body (or frame)  $\mathcal{E}$ . If this paragraph doesn't read like gibberish to you, you probably already know dynamics!