

## Kegiatan Belajar 1

### A. LANDASAN TEORI

#### PESAWAT ATWOOD

Dalam gerak translasi murni, sifat benda tegar mempertahankan keadaan geraknya disebut sebagai sifat kelembaman atau inersial. Sifat kelembaman atau inersial itu dinyatakan oleh massa kelembaman atau massa inersial yang biasa disebut secara singkat sebagai massa. Dalam gerak rotasi murni, peran massa kelembaman benda tegar digantikan oleh momen kelembaman benda tegar atau momen inersia benda tegar. Momen inersia benda tegar adalah sifat benda tegar mempertahankan keadaan geraknya atau berarti sama dengan kemalasan benda tegar untuk mengubah keadaan geraknya. Momen inersia sebuah benda tegar bergantung kepada bentuk geometris, distribusi massa dan letak sumbu rotasinya. Dalam kegiatan belajar ini anda dapat mempelajari momen inersia dari sebuah katrol.

Momen inersia sebuah katrol merupakan ukuran kelembaman sebuah katrol untuk berotasi atau berubah keadaan gerak rotasinya bila ada resultan momen gaya yang bekerja padanya. Momen inersia katrol ini dapat ditentukan pertama dengan menggunakan pendekatan konsep dan matematis melalui penjabaran dengan menggunakan teknik differensial dan integral, dan kedua adalah dengan pendekatan empiris melalui percobaan. Dalam modul ini, momen inersia sebuah katrol akan ditentukan dengan menggunakan pendekatan empiris melalui percobaan. Untuk itu dalam kegiatan belajar 1 ini anda dapat mempelajari penerapan konsep kecepatan, percepatan dan hukum-hukum Newton pada sebuah sistem katrol yang kemudian disebut sebagai pesawat Atwood.

Dalam kinematika translasi telah diketahui bahwa percepatan adalah perubahan kecepatan pada tiap satu satuan waktu, atau secara matematis dinyatakan dengan persamaan

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Dengan integrasi, kecepatan benda sebagai fungsi waktu dapat dicari sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 dv &= a dt \\
 \int_{v_0}^v dv &= \int_0^t a dt \\
 v - v_0 &= at \\
 v &= at + v_0 \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

Karena  $v = ds/dt$  maka

$$\begin{aligned}
 ds &= v dt \\
 ds &= (at + v_0) dt \\
 \int_{s_0}^s ds &= \int_0^t (at + v_0) dt \\
 s &= \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + s_0 \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

Karena dalam kinematika translasi yang ditinjau adalah gerak benda tanpa memperhatikan massa dan gaya-gaya yang bekerja pada benda itu, maka yang dihasilkan adalah persamaan-persamaan gerak benda seperti yang telah diuraikan kembali secara singkat di atas. Persamaan (1) dan (2) berlaku untuk gerak lurus berubah beraturan jika nilai percepatan  $a$  dalam kedua persamaan itu konstan dan tidak sama dengan nol, dan berlaku untuk gerak lurus beraturan jika nilai percepatan  $a$  dalam kedua persamaan itu sama dengan nol. Nilai  $v_0$  dan  $s_0$  dalam persamaan-persamaan itu dapat berharga nol.

Dalam dinamika translasi, gerak benda ditinjau dengan memperhatikan massa dan gaya-gaya yang bekerja pada benda itu atau gaya-gaya yang menyebabkan benda itu bergerak. Hukum-hukum gaya yang bekerja pada sistem gerak benda itu disebut sebagai hukum-hukum Newton tentang gerak yang biasa kita kenal dengan sebutan hukum I Newton, hukum II Newton, hukum III Newton, seperti yang akan dikemukakan kembali berikut ini.

Hukum I Newton :

***Setiap benda akan tetap diam atau bergerak lurus beraturan jika tidak ada resultan gaya yang bekerja pada benda itu.***

Jika kita simpulkan, maka menurut hukum I Newton ini setiap benda bersifat lembam yang berarti bersifat mempertahankan keadaan geraknya. Kemudian yang dimaksud dengan resultan gaya pada benda adalah jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja pada benda

itu.

Hukum II Newton :

***Percepatan yang dialami sebuah benda besarnya sebanding dengan besar resultan gaya yang bekerja pada benda itu, searah resultan gaya itu dan berbanding terbalik dengan massa kelembaman benda itu.***

Hukum II Newton ini biasa dinyatakan secara matematik dengan persamaan

$$\sum F = ma \quad \dots\dots\dots (3)$$

Pada persamaan (3) di atas, m disebut massa kelembaman benda. Massa kelembaman benda diperoleh dengan cara membandingkan resultan gaya yang bekerja pada benda itu dengan percepatan yang dialaminya akibat resultan gaya tersebut.

Hukum III Newton :

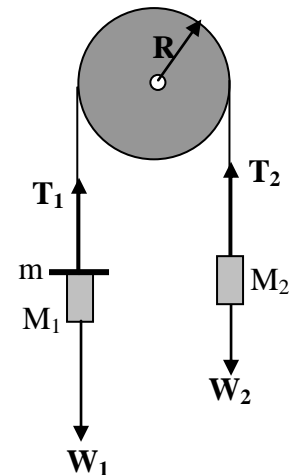
***Untuk setiap gaya (aksi) terdapat sebuah pasangan gaya (reaksi) yang besarnya sama dan arahnya berlawanan.***

Hukum III Newton ini biasa dikenal sebagai hukum aksi-reaksi dan biasa dinyatakan secara singkat sebagai

$$Aksi = - reaksi$$

Apa yang telah dikemukakan secara singkat di atas dimaksudkan untuk mengingatkan kembali kepada anda mengenai pengetahuan prasyarat untuk mempelajari apa yang akan dikemukakan selanjutnya. Sekarang cobalah anda menerapkan pengetahuan prasyarat itu untuk mempelajari uraian mengenai momen inersia berikut ini.

Pada gambar di samping ini dilukiskan sebuah sistem yang terdiri dari dua buah silinder yang massanya dibuat sama  $M_1$  dan  $M_2$  dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol. Pada sistem ini gesekan katrol dan massa tali diabaikan, tali dianggap tidak mulur dan tidak pernah slip terhadap katrol. Sistem yang demikian ini kemudian disebut sebagai pesawat Atwood. Pada  $M_1$  diberikan massa tambahan  $m$  agar sistem bergerak lurus berubah beraturan.



Gambar 1

Karena  $(M_1+m) > M_2$  maka  $(M_1+m)$  dan  $M_2$  kedua-duanya akan bergerak dipercepat beraturan sesuai dengan hukum II Newton.  $(M_1+m)$  bergerak turun,  $M_2$  bergerak naik dan katrol berotasi. Karena tali dianggap tidak mulur, maka percepatan  $(M_1+m)$  akan sama besarnya dengan percepatan  $M_2$ . Dengan menerapkan hukum II Newton, dapat diperoleh besar resultan gaya pada masing-masing silinder sesuai dengan persamaan berikut ini.

Pada  $(M_1+m)$  bekerja resultan gaya sebesar

$$W_1 - T_1 = (M_1 + m) \underline{a}$$

sedangkan pada benda  $M_2$  bekerja resultan gaya sebesar

$$T_2 - W_2 = M_2 a$$

Jika kedua persamaan di atas dijumlahkan maka dapat diperoleh

$$(W_1 - W_2) \underline{=} (T_1 - T_2) \underline{=} (M_1 + m + M_2) \underline{a}$$

yang dapat diubah menjadi

$$(T_1 - T_2) \underline{=} (W_1 - W_2) \underline{=} (M_1 + m + M_2) \underline{a} \dots\dots\dots (4)$$

Pada katrol, selisih tegangan tali  $(T_1 - T_2)$  akan menyebabkan momen gaya terhadap sumbu katrol sehingga katrol berotasi dengan percepatan sudut  $\alpha$  yang besarnya memenuhi persamaan

$$(T_1 - T_2) R = I \alpha$$

yang dapat diubah menjadi

$$(T_1 - T_2) \underline{=} \frac{I \alpha}{R} \dots\dots\dots (5)$$

dengan  $I$  adalah momen inersia katrol.

Bila kita hubungkan gerak translasi ( $M_1+m$ ) dan  $M_2$  dengan gerak rotasi katrol, maka terdapat hubungan  $a = \alpha R$ . Artinya percepatan tali atau percepatan kedua silinder sama dengan percepatan tangensial pinggiran katrol. Dengan demikian maka persamaan (5) di atas dapat diubah menjadi

$$T_1 - T_2 = \frac{Ia}{R^2} \dots\dots\dots (6)$$

Jika persamaan (4) disubstitusikan ke dalam persamaan (6) maka diperoleh

$$\frac{Ia}{R^2} = (W_1 - W_2) - (M_1 + m + M_2) aR$$

Dari persamaan terakhir di atas dapat diperoleh hubungan

$$a = \frac{(W_1 - W_2)}{(M_1 + m + M_2) + I/R^2} \dots\dots\dots (7)$$

atau karena gaya berat  $W = mg$ , maka persamaan (7) di atas dapat diubah menjadi

$$a = \frac{(M_1 + m - M_2)g}{(M_1 + m + M_2) + I/R^2} \dots\dots\dots (8)$$

Jika percepatan gravitasi diketahui, dan besaran-besaran  $M_1$ ,  $m$ ,  $M_2$ ,  $R$ , dan  $a$  dapat diukur atau ditentukan dari percobaan, maka momen inersia  $I$  dapat dihitung. Di dalam percobaan,  $a$  dapat ditentukan dengan mengukur selang waktu dan jarak yang ditempuh oleh ( $M_1+ m$ ) selama selang waktu itu. Jarak yang ditempuh ( $M_1+ m$ ) selama bergerak lurus berubah beraturan itu memenuhi persamaan (2) yaitu persamaan gerak lurus berubah beraturan

$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0$$

Jika beban tambahan  $m$  dilepaskan pada saat sistem sedang bergerak, dan  $M_1 = M_2$ , maka  $M_1$  dan  $M_2$  akan melanjutkan gerakannya dengan bergerak lurus beraturan dan katrol berotasi tanpa percepatan anguler. Kecepatan  $M_1$  dan  $M_2$  selama bergerak lurus beraturan dapat ditentukan dengan cara mengukur selang waktu dan dan jarak yang ditempuhnya selama selang waktu tersebut. Jarak yang ditempuh  $M_1$  selama bergerak lurus beraturan adalah sesuai dengan persamaan gerak lurus beraturan, yaitu dengan memasukkan nilai percepatan  $a = 0$  pada persamaan (2) sehingga diperoleh

$$s = vt + s_0$$

## B. KEGIATAN PERCOBAAN

### PESAWAT ATWOOD

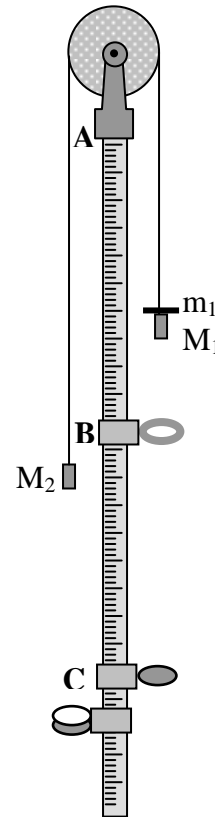
#### a. TUJUAN

Setelah melakukan percobaan ini anda diharapkan :

1. Mampu menyelidiki keberlakuan hukum-hukum Newton.
2. Mampu menghitung kecepatan dan percepatan suatu benda.
3. Menghitung momen inersia sebuah katrol.

#### b. ALAT-ALAT

1. Stopwatch
2. Neraca Ohaus
3. Jangka sorong
4. Pesawat Atwood yang terdiri dari :
  - a. Tiang vertikal berskala
  - b. Katrol (terpasang di ujung atas tiang berskala)
  - c. Klem pemegang beban
  - d. Klem pembatas berlubang
  - e. Klem pembatas tak berlubang
  - f. Beban tambahan  $m_1$  dan  $m_2$ .
  - g. Dua buah silinder beban  $M_1$  dan  $M_2$  yang digantung dengan tali melalui katrol.
  - h. Tali yang dianggap tidak mulur, tidak slip terhadap katrol dan massanya diabaikan.



Gambar 2  
Pesawat Atwood

#### c. Prosedur percobaan

1. Pastikan bahwa pesawat Atwood telah benar-benar siap untuk digunakan dengan cara :
  - a. Memeriksa dan mengusahakan agar posisi tiang vertikal berskala benar-benar vertikal. (bila-benar-benar tegak atau vertikal, ia pasti sejajar dengan tali penggantung beban).
  - b. Memeriksa dan mengusahakan agar katrol dapat bebas berotasi pada sumbunya.

2. Timbang dan catat massa silinder  $M_1$ ,  $M_2$ , dan beban tambahan  $m_1$  dan  $m_2$ .
3. Ukur dengan jangka sorong jari-jari katrol dan tinggi silinder yang digunakan.
4. Gantungkan  $M_1$  pada salah satu ujung tali dan  $M_2$  pada ujung lainnya, pasang tali pada katrol dengan posisi  $M_2$  di atas klem pemegang, berikan beban tambahan  $m_1$  di atas  $M_1$ .
5. Pasang dan tahan  $M_2$  pada klem pemegang, atur tinggi posisi klem pemegang agar posisi beban tambahan  $m_1$  tepat di titik nol skala vertikal dan tandai itu sebagai titik A.
6. Pasang klem pembatas berlubang sedemikian rupa agar posisi jatuhnya beban  $M_1$  nanti benar-benar di tengah-tengah lubangnya. Tandai posisi klem pembatas berlubang sebagai titik B.
7. Pasangkan klem pembatas tak berlubang di titik C sedemikian rupa sehingga  $BC < AB$ .
8. Lepaskan  $M_2$  dari klem pemegang agar  $M_1$  bergerak turun melewati klem pembatas berlubang dan beban tambahan  $m_1$  tertinggal di sana. Catat waktu ( $t_{BC}$ ) yang dibutuhkan  $M_1$  untuk menempuh jarak BC.
9. Lakukan langkah 8 s/d 10 sebanyak 10 kali dengan jarak AB tetap dan BC berbeda-beda.
10. Ulangi langkah 4 dengan mengganti beban tambahan  $m_1$  dengan  $m_2$  atau  $(m_1+m_2)$ .
11. Ulangi langkah 5 dan 6.
12. Lepaskan  $M_2$  dari klem pemegang agar  $M_1$  bergerak turun melewati klem pembatas berlubang dan beban tambahan  $m_1$  tertinggal di sana. Catat waktu ( $t_{AB}$ ) yang dibutuhkan  $M_1$  untuk menempuh jarak AB.
13. Ulangi langkah 10 s/d 12 dengan jarak AB yang berbeda-beda.

#### **d. Pertanyaan**

1. Berdasarkan data percobaan yang anda peroleh buatlah jarak sebagai fungsi kelajuan untuk  $M_1$  ketika :
  - a. masih ada beban tambahan di atasnya !
  - b. sudah tidak ada beban tambahan di atasnya !
2. Bagaimanakah gerak  $M_1$  menurut grafik itu ?
3. Dapatkah atau bolehkah dihitung nilai pendekatan kecepatan  $M_1$  berdasarkan grafik itu ? (Jika dapat atau boleh hitunglah ! jika tidak jelaskan apa sebabnya !)
4. Dapatkah atau bolehkah dihitung nilai pendekatan kecepatan  $M_1$  dari data dalam tabel

- 1 ? (Jika dapat atau boleh hitunglah dengan menggunakan teori ketidakpastian ! jika tidak jelaskan apa sebabnya!)
5. Bagaimanakah keberlakuan hukum Newton pada  $M_1$  itu ? Sebutkan hukum Newton yang mana !



**LEMBAR KERJA MAHASISWA**

**Nama** :  
**NIM** :  
**UPBJJ** :  
**Modul** : 2  
**Nomor percobaan** : 2  
**Judul percobaan** : Pesawat Atwood  
**Tanggal percobaan** :

**1. Keadaan laboratorium**

Keadaan	Sebelum percobaan	Sesudah percobaan
Suhu	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Tekanan	cm Hg	cm Hg
Kelembaban relatif	%	%

**1. Data Percobaan**

Memastikan bahwa pesawat Atwood telah benar-benar siap untuk digunakan dengan cara :

- b. Memeriksa dan mengusahakan agar posisi tiang vertikal berskala benar-benar vertikal, caranya adalah .....
- c. Memeriksa dan mengusahakan agar katrol dapat bebas berotasi pada sumbunya, caranya adalah .....

2. Massa silinder  $M_1$ ,  $M_2$ , dan beban tambahan  $m_1$  dan  $m_2$  adalah sebagai berikut.

No.	Benda	Massa (gram)
1	Silinder ( $M_1$ )	
2	Silinder ( $M_2$ )	
3	Beban tambahan ( $m_1$ )	
4	Beban tambahan ( $m_2$ )	

3. Mengukur jari-jari katrol dan tinggi silinder yang digunakan dengan jangka sorong.

Hasilnya adalah

- a. Tinggi silinder  $M_1$  = .....
- b. Tinggi silinder  $M_2$  = .....
- c. Jari-jari katrol = .....

4. Pengamatan gerak  $M_1$  menempuh jarak BC setelah meninggalkan beban tambahan  $m_1$  pada klem pembatas berlubang (hasil langkah percobaan ke 8 dan 9)

**a. Tabel pengamatan 1**

Percobaan ke	Jarak BC (cm)	Selang waktu $t_{BC}$ (sekon)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

5. Pengamatan gerak  $M_1$  menempuh jarak AB (hasil langkah percobaan 10 s/d 13)

**a. Tabel pengamatan 2 :**

Percobaan ke	Jarak AB (cm)	Selang waktu $t_{AB}$ (sekon)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

8		
9		
10		