

# MODUL 8

## GERAK ROTASI



Perhatikanlah gambar di atas! Mengapa atlet *ice skating*, jika ingin mendapatkan putaran yang lebih cepat perlu melipat kedua lengannya? Hal ini akan dapat Anda jelaskan dengan baik, jika Anda sudah mempelajari dengan baik konsep gerak rotasi.

## Sasaran Pembelajaran

### Kompetensi Inti

- KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya
- KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggung jawab, peduli (gotong-royong, kerja sama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia
- KI 3 : Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural, berdasarkan rasa ingin tahu tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.
- KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

### Kompetensi Dasar

- 2.1 Menunjukkan perilaku ilmiah (memiliki rasa ingin tahu; objektif; jujur; teliti; cermat; tekun; hati-hati; bertanggung jawab; terbuka; kritis; kreatif; inovatif dan peduli lingkungan) dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi sikap dalam melakukan percobaan dan diskusi

2.2. Menghargai kerja individu dan kelompok dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi melaksanakan percobaan dan melaporkan hasil percobaan

3.9 Menganalisis gerak translasi dan rotasi

4.7 Menyajikan hasil analisis gerak benda berdasarkan konsep translasi dan rotasi

### **Indikator**

1. Menjelaskan konsep gerak rotasi
2. Menyebutkan minimal empat (4) contoh gerak rotasi dalam kehidupan sehari-hari.
3. Menjelaskan konsep kecepatan sudut
4. Menghitung kecepatan sudut suatu benda yang bergerak rotasi
5. Menjelaskan konsep percepatan sudut
6. Menghitung percepatan sudut suatu benda yang bergerak rotasi
7. Menerapkan hubungan gerak rotasi dan gerak translasi untuk memecahkan masalah-masalah fisika
8. Menghitung kecepatan sudut pada saat tertentu suatu benda yang bergerak rotasi dengan percepatan sudut tetap
9. Menghitung besar energi kinetik gerak rotasi suatu benda
10. Menjelaskan momen inersia
11. Menghitung momen inersia benda diskrit
12. Menghitung momen inersia benda tegar dengan massa terdistribusi kontinu
13. Menjelaskan momentum sudut
14. Menerapkan hukum kekekalan momentum sudut untuk menyelesaikan persoalan fisika

## Uraian Isi Pembelajaran



### I. Gerak Rotasi

**Rotasi** adalah perputaran benda pada suatu sumbu yang tetap. Dalam kehidupan sehari-hari, Anda banyak menjumpai contoh gerak rotasi. Bumi berotasi pada sumbunya untuk bergerak mengelilingi Matahari dalam orbit yang berbentuk elips. Demikian juga bulan yang berotasi pada sumbunya untuk bergerak mengelilingi bumi (perhatikan gambar 8.1).



Gambar rotasi bumi yang menyebabkan siang dan malam

Gambar 8.1 Gerak rotasi Bumi dan Bulan

Roda gila (*fly wheel*) pada mobil juga bergerak rotasi untuk menstabilkan gerak mesin mobil (Gambar 8.2).



Gambar 8.2 Fly wheel (roda gila) pada mesin mobil

Rotor pada baling-baling helikopter juga bergerak rotasi (Gambar 8.3).



Gambar 8.3 Helikopter

## Kecepatan sudut

Masih ingat besaran kecepatan pada gerak lurus? Secara lengkap besaran itu adalah kecepatan linier. Sesuai dengan gerak lurus itu pada gerak rotasi dikenal besaran yang dinamakan kecepatan sudut. *Kecepatan sudut* didefinisikan sebagai perubahan posisi sudut benda yang bergerak rotasi tiap satu satuan waktu. Kecepatan sudut disebut juga dengan kecepatan anguler dan disimbolkan  $\omega$ . Dari definisi di atas dapat diperoleh perumusan berikut.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

dengan:

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$\Delta\theta$  = perubahan sudut (rad)

$\Delta t$  = selang waktu (s)

Kecepatan sudut sering disebut juga frekuensi sudut. Nama ini diambil karena  $\omega$  memiliki kaitan dengan frekuensi ( $f$ ). Kaitan itu dapat ditentukan dengan melihat gerak satu lingkaran penuh. Perubahan posisi sudut pada gerak satu lingkaran penuh adalah  $\Delta\theta = 2\pi$  dan waktunya satu periode  $T$  sehingga kecepatan sudutnya memenuhi persamaan berikut.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$
$$\omega = 2\pi f$$

### Contoh

Sebuah benda yang bergerak pada lintasan melingkar memiliki jari-jari 0,5 m. Partikel itu mampu menempuh sudut  $60\pi$  rad dalam 15 sekon. Tentukan kecepatan sudut benda tersebut!

### Penyelesaian

Diketahui:

$$\Delta\theta = 60\pi \text{ rad}$$

$$\Delta t = 15 \text{ s}$$

Ditanyakan:  $\omega = \dots$ ?

$$\omega = \frac{60\pi}{15} = 4\pi \text{ rad/s}$$

## Kerjakan sebagai Latihan!

Roda sepeda memiliki jari-jari 30 cm diputar dengan kecepatan tetap. Pentil (kutub) ban tersebut dapat berputar menempuh sudut  $120\pi$  rad dalam 10 detik. Tentukan kecepatan angulernya!

### Percepatan sudut

Kecepatan sudut suatu benda yang bergerak rotasi tidak selalu tetap. Misalnya gerak gerinda yang berputar kemudian mesinnya dimatikan maka geraknya itu akan mengalami penurunan kecepatan sudutnya hingga berhenti. Perubahan kecepatan sudut tiap satu satuan waktu inilah yang dinamakan *percepatan sudut*. Dari definisi ini dapat diturunkan rumus percepatan sudut seperti berikut.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

dengan:

$\alpha$  = percepatan sudut ( $\text{rad/s}^2$ )

$\Delta\omega$  = perubahan kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )

$\Delta t$  = selang waktu (s)

Sesuai dengan kecepatannya, percepatan sudut juga dapat disebut sebagai percepatan anguler.

### Contoh

Partikel yang berputar pada lintasan melingkar berubah kecepatan sudutnya dari 120 rpm menjadi 180 rpm dalam 40 sekon. Berapakah percepatan sudut gerak partikel itu?

### Penyelesaian

Diketahui:

$$\omega_0 = 120 \text{ rpm} = 120 \cdot \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} = 4\pi \text{ rad/s}$$

$$\omega = 180 \text{ rpm} = 180 \cdot \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} = 6\pi \text{ rad/s}$$

$$\Delta t = 40 \text{ s}$$

Ditanyakan:  $\alpha = \dots$ ?

Jawab:

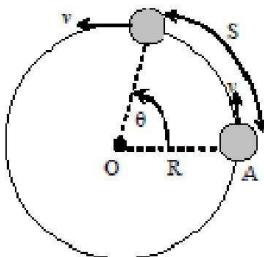
$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} = \frac{6\pi - 4\pi}{40} = 0,05\pi \text{ rad/s}$$

### Kerjakan sebagai Latihan

Batu diikat tali sepanjang 60 cm dan diputar dari ujung tali yang lain. Pada perputaran itu terjadi percepatan anguler sebesar 2 rad/s<sup>2</sup>. Jika mula-mula kecepatan angulernya 30 rpm maka berapakah kecepatan angulernya setelah berputar 20 s?

### Hubungan Besaran Sudut dan Besaran Linier

Anda telah belajar tentang besaran-besaran sudut dan besaran-besaran pada gerak lurus atau disebut besaran linier. Adakah hubungan antara besaran sudut dan besaran linier yang bersesuaian? Contohnya kecepatan (linier) dengan kecepatan sudut. Karena kalian telah mempelajarinya, tentu kalian dapat menjawabnya. Kedua besaran tersebut ternyata memiliki hubungan secara matematis. Hubungan-hubungan itu dapat kalian cermati pada penjelasan berikut.



Gambar 8.4 Gerak Partikel pada Lintasan Melingkar

Perhatikan sebuah partikel yang bergerak pada lintasan melingkar dengan jari-jari  $R$  seperti pada Gambar 8.4. Partikel bergerak dari titik A hingga titik B menempuh jarak  $S$  dan perubahan posisi sudutnya  $\theta$ . Secara matematis kedua besaran

itu memenuhi hubungan  $S = \theta R$ . Dari hubungan ini dapat ditentukan hubungan kecepatan linier dan kecepatan sudut sebagai berikut.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \cdot R = \omega \cdot R$$

Dan hubungan percepatan linier (percepatan tangensial) dan percepatan sudut sebagai berikut.

$$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \cdot R = \alpha \cdot R$$

Dari penjelasan di atas maka pada setiap benda yang bergerak rotasi akan memiliki besaran linier dan besaran sudut dengan hubungan memenuhi persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S &= \theta R \\ v &= \omega R \\ a_t &= \alpha R \end{aligned}$$

Dengan

- $S$  = jarak tempuh benda (m),
- $\theta$  = perubahansudut (rad)
- $v$  = kecepatan linier (m/s),
- $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s),
- $a_t$  = percepatan tangensial ( $\text{m/s}^2$ ),
- $\alpha$  = percepatansudut ( $\text{rad/s}^2$ ) dan
- $R$  = jari-jari lintasannya (m).

### Contoh

Sebuah balok kecil berada di tepi meja putar yang berjari-jari 0,4 m. Mula-mula meja berputar dengan kecepatan sudut 20 rad/s. Karena mengalami percepatan maka kecepatan sudutnya dapat berubah dan menjadi 50 rad/s setelah bergerak 15 s. Tentukan:

- a. kecepatan linier awal balok kecil,
- b. percepatan sudut balok kecil,
- c. percepatan tangensial balok kecil!

## Penyelesaian

Diketahui:

$$R = 0,4 \text{ m}$$

$$\omega_0 = 20 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 50 \text{ rad/s}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

Jawab:

- kecepatan linier awal balok kecil

$$v_0 = \omega \cdot R = 20 \times 0,4 = 8 \text{ m/s}$$

- percepatan sudut balok kecil

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} = \frac{50 - 20}{15} = 2 \text{ rad/s}^2$$

- percepatan tangensial balok kecil

$$a_t = \alpha \cdot R = 2 \times 0,4 = 0,8 \text{ m/s}^2$$

## Kerjakan sebagai Latihan

Jika balok kecil mengalami percepatan tangensial  $0,2 \text{ m/s}^2$ ,  $R = 50 \text{ cm}$  dan kecepatan awalnya  $4 \text{ m/s}$  maka tentukan:

- percepatan sudut balok,
- kecepatan sudut balok setelah bergerak  $4 \text{ s}$ ,
- kecepatan linier balok pada  $t = 4 \text{ s}$ !

## Gerak Rotasi dengan Percepatan Sudut Tetap

Pada saat menghidupkan kipas, perputaran baling-baling kipas semakin cepat dan pada saat mematikan kipas, perputaran baling-baling kipas semakin lambat. Jika penambahan atau pengurangan kecepatan adalah konstan maka dikatakan kipas bergerak melingkar berubah beraturan. Jadi gerak melingkar berubah beraturan adalah gerak melingkar dengan percepatan sudut konstan ( $\alpha = \text{konstan}$ ).

Rumus-rumus pada gerak melingkar berubah beraturan merupakan analogi dari rumus gerak lurus berubah beraturan (GLBB) seperti terlihat pada tabel 8.1 berikut.

Tabel 8.1 Analogi rumus-rumus GLBB dan GMBB

Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)	Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB)
$v_t = v_0 \pm a \cdot t$	$\omega_t = \omega_0 \pm \alpha \cdot t$
$s = v_0 \times t \pm \frac{1}{2} a \cdot t^2$	$\theta = \omega_0 \times t \pm \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$
$v_t^2 = v_0^2 \pm 2 \cdot a \cdot s$	$\omega_t^2 = \omega_0^2 \pm 2 \cdot \alpha \cdot s$
$\alpha = \frac{a}{R}$	$a = \alpha \times R$
$s = \theta \times R$	$\theta = \frac{s}{R}$

Keterangan:

$\omega_0$  = kecepatan sudut mula-mula

$\theta$  = sudut yang ditempuh selama t detik

$\omega_t$  = kecepatan sudut setelah t detik (+ = gerak melingkar dipercepat, - = gerak melingkar diperlambat)

$\alpha$  = percepatan sudut

R = jari-jari roda

### Contoh

Sebuah benda bergerak melingkar berubah beraturan dengan kecepatan sudut awal 10 rad/s, jika dalam waktu 2 detik percepatan sudutnya 4 rad/s<sup>2</sup>, hitunglah kecepatan sudutnya saat itu!

### Penyelesaian

Dik:

$$\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$$

$$t = 2 \text{ detik}$$

$$\alpha = 4 \text{ rad/s}^2$$

$$\text{dit: } \omega_t = \dots?$$

Jawab:

$$\begin{aligned} \omega_t &= \omega_0 + \alpha \cdot t \\ &= 10 + 4 \cdot 2 = 18 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

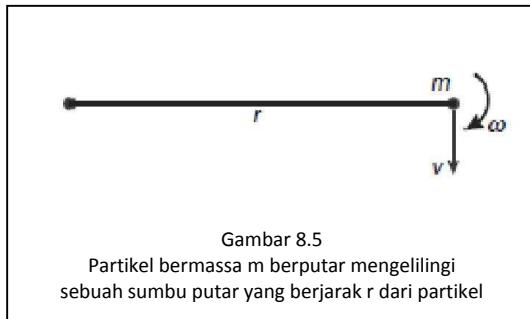
## Kerjakan sebagai Latihan!

Sebuah benda bergerak melingkar berubah beraturan dengan kecepatan sudut awal 10 rad/s, jika dalam waktu 2 detik percepatan sudutnya 4 rad/s<sup>2</sup>, hitunglah kecepatan sudutnya saat itu!

## II. Momen Inersia

**Apakah Momen Inersia Itu?**

**Momen Inersia Benda Diskrit (Partikel)**



Perhatikan gambar 8.5! Dalam gerak melingkar, kecepatan linear dinyatakan dengan  $v = \omega \cdot R$ , dengan  $\omega$  adalah kecepatan sudut. Oleh karena itu, besar energi kinetik rotasi partikel dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$E_{k \text{ rotasi}} = \frac{1}{2} m r^2 v^2$$

Dari persamaan di atas, diperoleh nilai  $mr^2$  yang menyatakan momen inersia dari partikel yang bergerak melingkar. Momen inersia dilambangkan dengan  $I$ .

$$I = mr^2$$

dengan

$I$  = momen inersia ( $\text{kgm}^2$ )

$m$  = massa (kg)

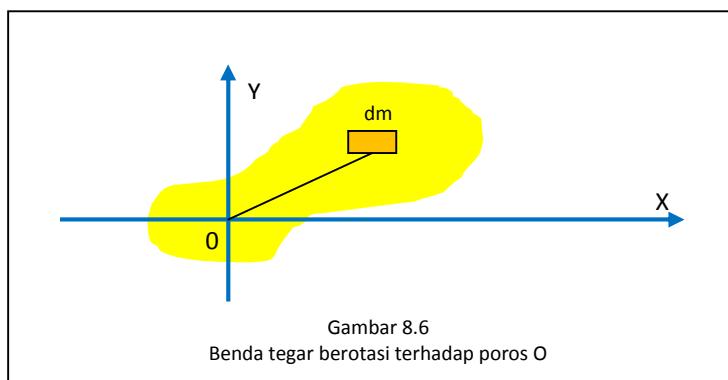
$r$  = jarak (m)

Dengan demikian, momen inersia sebuah partikel sebanding dengan massa partikel dan kuadrat jarak antara partikel dan sumbu putarnya. Momen inersia merupakan besaran skalar yang memiliki satuan  $\text{kgm}^2$ .

Benda yang terdiri atas susunan partikel (titik), jika melakukan gerak rotasi memiliki momen inersia sama dengan hasil jumlah dari momen inersia partikel penyusunnya.

$$I = \sum_i m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots$$

### Momen Inersia Benda Tegar dengan massa terdistribusi kontinu



Jika benda tegar memiliki distribusi massa yang kontinu, seperti silinder pejal atau pelat, kita perlu menghitung momen inersia dengan metode integrasi untuk menghitung penjumlahan.

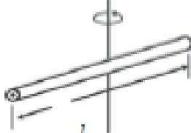
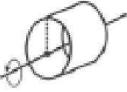
Jika suatu benda tegar tidak dapat ditampilkan sebagai kumpulan partikel, melainkan merupakan distribusi massa yang kontinu, penjumlahan dengan tanda sigma ( $\Sigma$ ) pada persamaan  $I = \sum_i m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots$  harus

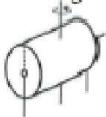
diganti dengan tanda integral ( $\int$ ). Kita bayangkan membagi benda menjadi berbagai elemen massa kecil  $dm$  yang berjarak  $r$  dari poros rotasi (Gambar 8.6), sehingga momen inersia  $I$  dapat dinyatakan oleh:

$$I = \int r^2 dm$$

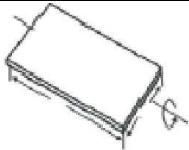
Hasil-hasil metode integrasi untuk menentukan momen inersia berbagai benda ditunjukkan pada Tabel 8.2.

**Tabel 8.2 Momen Inersia Berbagai Benda**

No	Nama Benda	Rumus	Keterangan
1	 Batang silinder, poros melalui pusat silinder	$I = \frac{1}{12} ml^2$	$I$ = momen inersia $m$ = massa silinder $l$ = panjang silinder
2	 Batang silinder, poros melalui ujung	$I = \frac{1}{3} ml^2$	
3	 Silinder berongga, tipis, poros melalui sumbu silinder	$I = mR^2$	$m$ = massa silinder $R$ = jari-jari silinder $l$ = panjang silinder
4	 Silinder poros melalui sumbunya	$I = \frac{1}{12} ml^2$	

5		$I = \frac{1}{4}mR^2 + \frac{1}{2}ml^2$	
6		$I = \frac{2}{5}mR^2$	$m = \text{massa bola}$ $R = \text{jari-jari bola}$
7		$I = \frac{2}{3}mR^2$	
8		$I = \frac{7}{5}mR^2$	
9		$I = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$	$m = \text{massa pelat}$ $a = \text{lebar pelat}$ $b = \text{panjang pelat}$

10



Lempeng tipis,  
poros seperti  
tampak pada  
gambar

$$I = \frac{1}{12}ma^2$$

### Contoh

1. Sebuah partikel bermassa 200 gram berada 20 cm dari pusat rotasi. Tentukan momen inersia partikel tersebut ketika diputar!

Diketahui:

$$m = 200 \text{ gram} = 0,2 \text{ kg}$$

$$r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

Ditanyakan:  $I = \dots$ ?

Jawab:

$$I = m.r^2 = 0,2.(0,2)^2 = 0,008 \text{ kg m}^2$$

2. Sebuah silinder pejal memiliki massa 0,5 kg dan panjang 0,2 meter, berputar melalui sumbunya. Hitunglah momen inersianya!

Diketahui:

$$M = 0,5 \text{ kg}$$

$$L = 0,2 \text{ m}$$

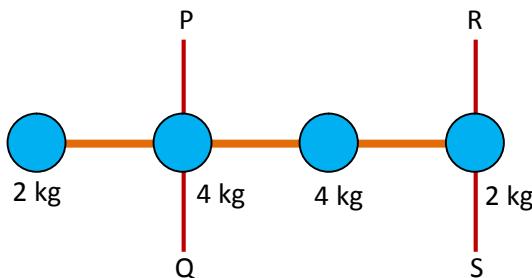
Ditanyakan:  $I = \dots$ ?

Jawab:

$$I = \frac{1}{12}ml^2 = \frac{1}{12}0,5.(0,2)^2 = 1,67 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

### Kerjakan sebagai latihan!

Empat partikel dihubungkan dengan batang kayu yang ringan dan massanya diabaikan seperti pada gambar berikut.



Jika jarak antar partikel sama, yaitu 10 cm, berapakah momen inersia sistem partikel tersebut terhadap

- poros PQ;
- poros RS.

### III. Hukum Kekekalan Momentum Sudut



Gambar 8.7  
Menggulung benang layangan dengan kaleng bekas

Pernahkan Anda menggulung benang layangan dengan kaleng bekas? Jika dua buah kaleng, yang satunya kecil dan yang satunya lagi besar, digunakan untuk menggulung benang, kaleng manakah yang akan menyebabkan putaran tangan kita

lebih cepat jika panjang benang dan waktu yang digunakan untuk meng gulung adalah sama? Hal ini dapat dijelaskan dengan konsep hukum kekekalan momentum.

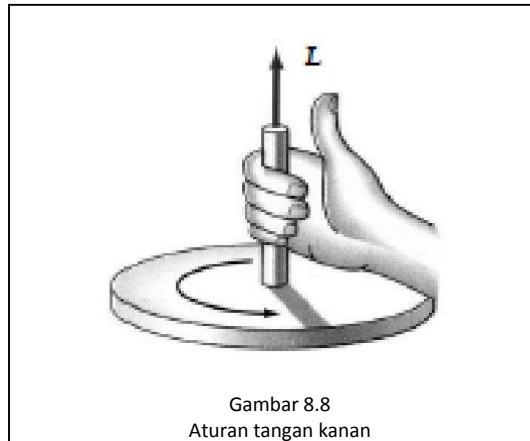
### a. Momentum Sudut

Anda telah mengenal besaran momentum linear yang dinyatakan oleh  $P = m.v$ . Pada gerak rotasi, yang analog dengan momentum linear adalah *momentum sudut*. Massa analog dengan momen inersia, kecepatan linear analog dengan kecepatan sudut, maka momentum sudut momentum sudut didefinisikan sebagai perkalian antara momen inersia dan kecepatan sudut. Secara matematis, dituliskan sebagai berikut.

$$L = I\omega$$

dengan:

$I$  = momen inersia ( $\text{kgm}^2$ ),  
 $\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ ), dan  
 $L$  = momentum sudut ( $\text{kgm}^2/\text{s}$ ).



Momentum sudut merupakan besaran vektor karena memiliki besar dan arah. Arah momentum sudut dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.8. Arah putaran keempat jari menunjukkan arah rotasi, sedangkan ibu jari menunjukkan arah momentum sudut.

Jika lengan torsi terhadap poros  $r$  dan kecepatan linear  $v$  benda (benda dianggap partikel) diberikan, besar momentum sudut  $L$  dapat dihitung sebagai berikut.

$$I = mr^2 \quad \text{dan} \quad \omega = \frac{v}{r}, \text{ sehingga:}$$

$$L = I\omega = \left( mr^2 \right) \left( \frac{v}{r} \right) = mrv$$

dengan

$L$  = momentum sudut ( $\text{kgm}^2/\text{s}$ ).

$m$  = massa (kg)

$r$  = jari-jari (m)

$v$  = kecepatan linear (m/s)

### b. Formulasi Hukum Kekekalan Momentum Sudut pada Gerak Rotasi

Hukum kekekalan momentum linear menyatakan bahwa jika pada suatu sistem tidak bekerja resultan gaya luar ( $\sum F = 0$ ), momentum linear sistem adalah kekal (tetap besarnya). Pada gerak rotasi pun anda akan menjumpai hukum kekekalan momentum sudut.

Jika momen gaya luar sama dengan nol, berlaku Hukum Kekekalan Momentum Sudut, yaitu momentum sudut awal akan sama besar dengan momentum sudut akhir. Secara matematis, pernyataan tersebut dituliskan sebagai berikut.

$$L_{awal} = L_{akhir}$$

$$I_1\omega_1 = I_1\omega'$$

#### Hukum Kekekalan momentum sudut

“jika tidak ada resultan momen gaya luar yang bekerja pada sistem ( $\sum \tau = 0$ ), momentum sudut sistem adalah kekal (tetap besarnya)”.



Gambar 8.9  
Penari *ice skating*

Dari persamaan hukum kekekalan momentum sudut, dapat dilihat bahwa apabila  $I$  bertambah besar,  $\omega$  akan semakin kecil. Sebaliknya, apabila  $\omega$  semakin besar maka  $I$  akan mengecil. Prinsip ini diaplikasikan oleh pemain *ice skating* dalam melakukan putaran (Gambar 8.9). Saat akan memulai putaran badan, pemain *ice skating* merentangkan lengannya (momen inersia pemain akan semakin besar karena jarak lengan dengan badan bertambah). Kemudian, ia merapatkan kedua lengannya ke arah atas badannya agar momen inersianya mengecil (karena jarak lengan dengan badan mengecil) sehingga putaran badannya akan semakin cepat (kecepatan sudutnya membesar).

Contoh lainnya adalah pada saat menggulung benang layangan dengan dua buah kaleng bekas yang berbeda diameternya. Untuk kaleng bekas yang diameternya lebih besar, maka jari-jarinya juga besar. Jari-jari yang besar akan memberikan momen inersia yang besar juga. Dengan momen inersia besar, menurut hukum kekekalan momentum sudut, akan menyebabkan kecepatan sudut kecil. Sebaliknya, kaleng bekas yang diameternya lebih kecil, maka jari-jarinya juga kecil. Jari-jari yang kecil akan memberikan momen inersia yang kecil juga. Dengan momen inersia kecil, menurut

hukum kekekalan momentum sudut, akan menyebabkan kecepatan sudut membesar. Itu sebabnya, menggulung dengan kaleng bekas yang diameternya lebih kecil akan menyebabkan putaran tangan kita menjadi lebih cepat dibandingkan menggulung dengan kaleng bekas yang diameternya lebih besar.

### Contoh

Seorang penari balet memiliki momen inersia  $8 \text{ kgm}^2$  ketika kedua lengannya terlentang dan  $2 \text{ kgm}^2$  ketika merapat ke tubuhnya. Pada saat kedua lengannya terlentang, penari tersebut berputar dengan kelajuan 3 putaran/s. Setelah itu, kedua lengannya dirapatkan ke tubuhnya. Tentukanlah laju putaran penari ketika kedua lengannya merapat!

**Diketahui :**

$$I = 8 \text{ kgm}^2$$

$$I' = 2 \text{ kg m}^2$$

$$\omega = 3 \text{ putaran/s}$$

**Ditanyakan :**  $\omega' = \dots ?$

**Jawab:**

$$I\omega = I'\omega'$$

$$\omega' = \frac{I\omega}{I'} = \frac{8 \times 3}{2} = 12 \text{ putaran/s}$$

### Kerjakan sebagai latihan!

1. Seorang penari balet memiliki momen inersia  $4 \text{ kgm}^2$  ketika kedua lengannya terlentang. Pada saat kedua lengannya terlentang, penari tersebut berputar dengan kelajuan 2 putaran/s. Pada saat kedua lengannya dirapatkan ke tubuhnya, penari tersebut berputar dengan kelajuan 8 putaran/s. Tentukanlah momen inersia penari ketika kedua lengannya merapat!

## IV. Energi Gerak Rotasi

Benda yang bergerak lurus mempunyai energi kinetik yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$EK = \frac{1}{2} m v^2$$

Dengan

$EK$  = energi kinetik (Joule)

$m$  = massa (kg)

$v$  = kelajuan (m/s)

Besaran fisika pada gerak rotasi yang identik dengan massa ( $m$ ) pada gerak lurus adalah momen inersia ( $I$ ). Besaran fisika pada gerak rotasi yang identik dengan kelajuan ( $v$ ) pada gerak rotasi adalah kelajuan sudut ( $\omega$ ). Dengan demikian, benda yang bergerak rotasi mempunyai energi kinetik yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$EK = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Dengan

$EK$  = energi kinetik (Joule)

$I$  = momen inersia ( $\text{kgm}^2$ )

$\omega$  = kelajuan sudut (rad/s)

### Contoh

Sebuah partikel mempunyai momen inersia  $2 \text{ kg m}^2$  berotasi dengan kelajuan sudut  $10 \text{ rad/s}$ . Tentukan energi kinetik partikel!

## Penyelesaian

Diketahui :

$$\text{Momen inersia partikel (I)} = 2 \text{ kg m}^2$$

$$\text{Kelajuan sudut partikel (\omega)} = 10 \text{ rad/s}$$

Ditanya : Energi kinetik (EK) partikel ketika bergerak rotasi ?

Jawab :

Rumus energi kinetik pada gerak rotasi :

$$EK = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$EK = \frac{1}{2} (2)(10)^2 = (1)(100)$$

$$EK = 100 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 100 \text{ Joule}$$

## Kerjakan sebagai Latihan!

Partikel bermassa 1 kg berjarak 2 meter dari sumbu rotasi, berotasi dengan kelajuan sudut 4 rad/s. Tentukan energi kinetik partikel!

## V. Pemecahan Masalah Gerak Menggelinding dengan Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Perlu Anda ingat bahwa masalah dinamika translasi dapat diselesaikan secara mudah dan cepat dengan hukum kekekalan energi mekanik, demikian juga secara analogi masalah dinamika rotasi dapat juga diselesaikan dengan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik. Pada bagian ini kita akan mempelajari cara pemecahan masalah dinamika rotasi berupa gerak menggelinding dengan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik.

**Gerak menggelinding** adalah suatu gerak dari benda tegar yang melakukan gerak translasi sekaligus melakukan gerak rotasi. Benda tegar yang melakukan gerak menggelinding maka selama gerakan berlaku hukum kekekalan energi mekanik, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$E_M (\text{mekanik}) = E_P (\text{potensial}) + E_K (\text{translasi}) + E_K (\text{rotasi})$$

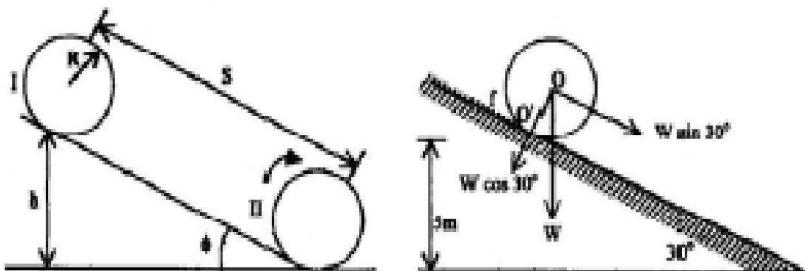
$$E_M = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Energi kinetik translasi dihitung berdasarkan asumsi bahwa benda adalah suatu partikel yang kelajuan liniernya sama dengan kelajuan pusat massa sedangkan energi kinetik rotasi dihitung berdasarkan asumsi bahwa benda tegar berotasi terhadap poros yang melewati pusat massa.

### Contoh

Sebuah silinder pejal bermassa  $M$  dan berjari-jari  $R$  diletakkan pada bidang miring dengan kemiringan  $\theta$  terhadap bidang horizontal yang mempunyai kekasaran tertentu. Setelah dilepas silinder tersebut menggelinding, tentukan kecepatan silinder setelah sampai di kaki bidang miring!

Cara penyelesaiannya:



Persoalan ini dapat diselesaikan menggunakan konsep hukum kekekalan tenaga mekanik.

Pada gerak menggelinding berlaku hukum kekekalan tenaga mekanik.

Tenaga mekanik silinder pada kedudukan 1 adalah:

$$E_1 = E_{P1} = Mg(h + R) = Mgh + MgR$$

Sedangkan tenaga mekanik silinder pada kedudukan 2 adalah:

$$E_2 = E_{P2} + E_{K2} + E_{K\text{Rotasi}2} = MgR + \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Perubahan tenaga mekanik yang terjadi adalah

$$W_f = \Delta E = E_2 - E_1 = \left( MgR + \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \right) - \left( Mgh + MgR \right)$$

$$W_f = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 - Mgh$$

Karena  $W_f = 0$ , maka dengan memasukkan momen inersia silinder

$$I = \frac{1}{2}MR^2$$

dan kecepatan sudut silinder

$$\omega = \frac{v}{R}$$

Kecepatan silinder setelah sampai di ujung kaki bidang miring besarnya adalah

$$W_f = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 - Mgh$$

$$0 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2 - Mgh$$

$$0 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{4}MR^2 \times \frac{v^2}{R^2} - Mgh$$

$$0 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{4}Mv^2 - Mgh$$

$$Mgh = \frac{3}{4}Mv^2$$

$$gh = \frac{3}{4}v^2$$

$$v^2 = \frac{4}{3}gh$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$$

## Rangkuman

1. **Rotasi** adalah perputaran benda pada suatu sumbu yang tetap.
2. *Kecepatan sudut* didefinisikan sebagai perubahan posisi sudut benda yang bergerak rotasi tiap satu satuan waktu.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

3. Perubahan kecepatan sudut tiap satu satuan waktu dinamakan *percepatan sudut*.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

4. Pada setiap benda yang bergerak rotasi akan memiliki besaran linier dan besaran sudut dengan hubungan memenuhi persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S &= \theta R \\ v &= \omega R \\ a_t &= \alpha R \end{aligned}$$

5. Momen inersia adalah ukuran kecenderungan suatu benda untuk mempertahankan keadaannya terhadap gerak rotasi.

- a. Momen inersia partikel

$$I = mr^2$$

- b. Momen inersia kumpulan partikel

$$I = \sum mr^2$$

- c. Momen inersia benda tegar

$$I = \int r^2 dm$$

6. Besarnya momentum sudut dirumuskan sebagai

$$L = I\omega$$

$$L = m.v.r$$

7. Hukum Kekekalan Momentum Sudut.

$$\begin{aligned}L_1 &= L_2 \\I_1 \cdot \omega_1 &= I_2 \cdot \omega_2\end{aligned}$$

8. Benda yang bergerak rotasi mempunyai energi kinetik yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$EK = \frac{1}{2} I \omega^2$$

9. **Gerak menggelinding** adalah suatu gerak dari benda tegar yang melakukan gerak translasi sekaligus melakukan gerak rotasi.

10. Benda tegar yang melakukan gerak menggelinding maka selama gerakan berlaku hukum kekekalan energi mekanik, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$E_M (\text{mekanik}) = E_P (\text{potensial}) + E_K (\text{translasi}) + E_K (\text{rotasi})$$

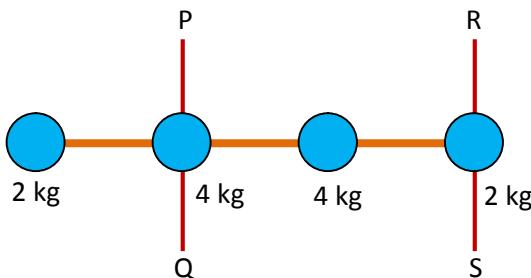
$$E_M = mgh + \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$$

## Latihan Soal-soal

1. Jelaskan yang dimaksud dengan gerak rotasi! Berikan 4 contoh gerak rotasi dalam kehidupan sehari-hari!
2. Jelaskan yang dimaksud dengan kecepatan sudut!
3. Roda sepeda memiliki jari-jari 60 cm diputar dengan kecepatan tetap. Pentil (kutub) ban tersebut dapat berputar menempuh sudut  $120\pi$  rad dalam 60 detik. Tentukan kecepatan angulernya!
4. Jelaskan yang dimaksud dengan percepatan sudut!
5. Batu diikat tali sepanjang 10 cm dan diputar dari ujung tali yang lain. Pada perputaran itu terjadi percepatan anguler sebesar  $1 \text{ rad/s}^2$ . Jika mula-mula kecepatan angulernya 10 rpm maka berapakah kecepatan angulernya setelah berputar 10 s?
6. Sebuah balok kecil berada di tepi meja putar yang berjari-jari 0,5 m. Mula-mula meja berputar dengan kecepatan sudut 10 rad/s. Karena mengalami percepatan maka kecepatan sudutnya dapat berubah dan menjadi 40 rad/s setelah bergerak 5 s. Tentukan:
  - a. kecepatan linier awal balok kecil,
  - b. percepatan sudut balok kecil,
  - c. percepatan tangensial balok kecil!
7. Sebuah benda bergerak melingkar berubah beraturan dengan kecepatan sudut awal  $20 \text{ rad/s}$ , jika dalam waktu 5 detik percepatan sudutnya  $5 \text{ rad/s}^2$ , hitunglah kecepatan sudutnya saat itu!
8. Apakah yang dimaksud dengan momen inersia? Bagaimanakah persamaan matematisnya?

9. Sebuah partikel bermassa 400 gram berada 50 cm dari pusat rotasi. Tentukan momen inersia partikel tersebut ketika diputar!

10. Empat partikel dihubungkan dengan batang kayu yang ringan dan massanya diabaikan seperti pada gambar berikut.



Jika jarak antar partikel sama, yaitu 10 cm, berapakah momen inersia sistem partikel tersebut terhadap:

- a. poros PQ;
- b. poros RS.

11. Sebuah silinder pejal memiliki massa 0,2 kg dan panjang 0,4 meter, berputar melalui sumbunya. Hitunglah momen inersianya!

12. Sebuah bola pejal, poros melalui diameter memiliki jari-jari 0,1 m dan massa 0,2 kg. Hitunglah besar momen inersianya jika bola pejal tersebut berputar!

13. Jelaskan yang dimaksud dengan momentum sudut!

14. Seorang penari balet memiliki momen inersia  $4 \text{ kgm}^2$  ketika kedua lengannya terlentang. Pada saat kedua lengannya terlentang, penari tersebut berputar dengan kelajuan 2 putaran/s. Pada saat kedua lengannya dirapatkan ke tubuhnya, penari tersebut berputar dengan kelajuan 8 putaran/s. Tentukanlah momen inersia penari ketika kedua lengannya merapat!

15. Pernahkan Anda menggulung benang layangan dengan kaleng bekas? Jika dua buah kaleng, yang satunya kecil dan yang satunya lagi besar, digunakan untuk menggulung benang, kaleng manakah yang akan menyebabkan putaran tangan kita lebih cepat jika panjang benang dan waktu yang digunakan untuk menggulung adalah sama? Jelaskan!
  
16. Partikel bermassa 4 kg berjarak 8 meter dari sumbu rotasi, berotasi dengan kelajuan sudut 2 rad/s. Tentukan energi kinetik partikel!

### a. Kriteria Penilaian Tes

Skor	Kriteria
5	Memberikan suatu penyelesaian lengkap dan benar
4	Memberikan suatu penyelesaian yang benar, sedikit cacat, tetapi memuaskan
3	Memberikan suatu penyelesaian yang benar, banyak cacat, tetapi hampir memuaskan
2	Memberikan suatu penyelesaian yang ada unsur benarnya, tetapi tidak memadai
1	Mencoba memberikan suatu penyelesaian, tetapi salah total
0	Tidak mencoba memberikan penyelesaian sama sekali

### b. Rumus untuk menghitung skor akhir tes

$$Nilai = \frac{\text{skor yang diperoleh siswa}}{\text{skor maksimum}} \times 100$$

Contoh:

Dalam tes yang terdiri dari 5 buah soal, dengan menggunakan kriteria penilaian tes, anda mendapatkan nilai sebagai berikut.

No Tes	Nilai
1	4
2	5
3	3
4	5
5	3
<b>Jumlah</b>	<b>20</b>

Karena jumlah soal adalah 5, maka nilai skor maksimumnya adalah  $5 \times 5 = 25$ .

$$Nilai = \frac{20}{25} \times 100 = 80$$

Jadi nilai Anda adalah 80.

**c. Pedoman menentukan tingkat pencapaian sasaran belajar**

KKM untuk mata pelajaran fisika kelas X semester genap adalah 75.

- Jika nilai yang Anda dapatkan dalam tes kurang dari 75, maka Anda belum tuntas.
- Jika nilai yang Anda dapatkan dalam tes lebih dari atau sama dengan 75, maka Anda sudah tuntas.

**d. Tindak lanjut**

- Jika nilai Anda belum tuntas, maka Anda perlu menempuh remidi.
- Jika nilai Anda sudah tuntas, maka Anda bisa melanjutkan ke materi pembelajaran berikutnya.