

# RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

## TAHUN PELAJARAN 2020/2021

Nama Sekolah	: SMA Takhassus Al-Qur'an
Mata Pelajaran	: Fisika Peminatan
Kelas/ Semester	: XI/Gasal
Materi Pokok	: Dinamika Rotasi
Alokasi Waktu/ Pertemuan	: 7 x 2 jam pelajaran
Silabus	: KI.3/KI.4/KD.3.1/KD.4.1

### A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Melalui pembelajaran daring dengan pendekatan saintifik dengan menggunakan model pembelajaran Problem Base Learning dengan proses mencari informasi, menanya, berdiskusi, dan melakukan pengamatan peserta didik dapat mengidentifikasi konsep titik berat benda yang bentuknya teratur, menganalisis persamaan titik berat benda yang bentuknya teratur, menyelesaikan persoalan yang berkaitan dengan titik berat beraturan, serta mampu membangun sikap ilmiah dan keterampilan prosedural melalui proses mencoba, mengasosiasi dan mengkomunikasikannya dalam presentasi dan laporan tertulis dengan cermat, teliti, kerjasama dan tanggung jawab, serta dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, kreasi (4C).

### B. LANGKAH-LANGKAH KEGIATAN PEMBELAJARAN

#### 1. Media, Alat dan Bahan

Media : *whatsapp* atau media online lainnya;

Alat : Laptop/computer, dan smartphone

Bahan : UKBM : FIS/XI/3.1-4.1 dan artikel materi di internet

#### 2. Sumber Belajar :

- UKBM : FIS/XI/3.1-4.1
- Subagya, Heri. 2018. Konsep dan Penerapan Fisika SMA/MA Kelas XI. Jakarta: Bailmu
- Suparmin,dkk.2013. Fisika Peminatan XI.Surakarta: Mediatama
- <https://www.youtube.com/watch?v=VvIKMkqVoig>
- <https://www.youtube.com/watch?v=d3n-B4AXxWE&t=24s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=fB535YXLINY>
- <https://www.youtube.com/watch?v=LJhyM0kwd1U>

#### 3. Kegiatan Pendahuluan

- a) **Orientasi:** Melalui media *Whatsapp* atau *Google meets* atau *microsoft teams* guru memulai pembelajaran dengan menyampaikan salam, berdoa, dan memeriksa kehadiran peserta didik, menyiapkan fisik dan psikis peserta didik dalam mengawali kegiatan pembelajaran.
- b) **Apersepsi:** Guru memberikan penguatan tentang materi pembelajaran yang akan dilakukan dengan pengalaman peserta didik terhadap materi sebelumnya, mengingatkan kembali materi dengan bertanya, mengajukan pertanyaan yang terkait dengan materi yang akan diajarkan. contohnya dapat dilihat di link <https://www.youtube.com/watch?v=VvIKMkqVoig>
- c) **Motivasi:** Memberikan gambaran tentang manfaat mempelajari materi

dinamika rotasi, kesetimbangan benda tegar dan titik berat, menyampaikan tujuan pembelajaran pada pertemuan yang berlangsung, dan mengajukan pertanyaan stimulus secara interaktif.

- d) **Pemberian Acuan:** Memberitahukan materi pelajaran yang akan dibahas pada pertemuan yang sedang berlangsung, menyampaikan kompetensi inti, kompetensi dasar, indikator, dan KKM materi yang sedang dipelajari melalui UKBM secara online.

#### 4. Kegiatan Inti

- a) **Literasi:** Melalui media *what app* atau *google meets* atau *microsoft teams*, guru memberikan stimulus dengan link <https://www.youtube.com/watch?v=d3n-B4AXxWE&t=24s> melalui pendekatan saintifik guru menanyakan beberapa hal terkait materi
- b) **Critical Thinking (Berpikir Kritis):** Melalui media *what app* atau *google meets* atau *microsoft teams* Guru memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengidentifikasi pertanyaan yang berkaitan dengan wacana yang disajikan dan dijawab melalui kegiatan pembelajaran.
- c) **Collaboration (Kerja Sama):** Melalui media *what app* atau *google meets* atau *microsoft teams* peserta didik diberi kesempatan untuk berdiskusi dengan temannya, mengumpulkan informasi, mempresentasikan ulang, dan saling bertukar informasi mengenai materi dinamika rotasi.
- d) **Communication (komunikasi):** Melalui media *what app* atau *google meets* atau *microsoft teams* peserta didik berdiskusi untuk menyimpulkan dan menyampaikan hasil analisis tentang dinamika rotasi, mempresentasikan hasil analisis, mengemukakan pendapat atas presentasi yang dilakukan tentang dinamika rotasi dan ditanggapi oleh peserta didik lain, bertanya kepada peserta didik lain atas presentasi tentang dinamika rotasi dan peserta didik lain diberi kesempatan untuk menjawabnya.
- e) **Creativity (Kreativitas):** Melalui media *what app* atau *google meets* atau *microsoft teams* peserta didik bertanya tentang hal yang belum dipahami atau guru menyampaikan beberapa pertanyaan dnamika rotasi sebagai pemicu kepada peserta didik berkaitan dengan yang akan selesai dipelajari.

#### 5. Kegiatan Penutup

- a) **Peserta didik :** Melalui media *what app* atau *google meets* atau *microsoft teams* membuat ringkasan dengan bimbingan guru tentang materi dinamika rotasi. Mengagendakan pekerjaan rumah untuk materi pelajaran dengan menganalisis penerapan/aplikasi dari dinamika rotasi. Mengagendakan materi atau tugas proyek /produk /portofolio /unjuk kerja yang harus dipelajari pada pertemuan berikutnya melalui Whats app atau *google clasroom*.
- b) **Guru :** Memeriksa pekerjaan peserta didik yang selesai langsung diperiksa untuk materi pelajaran dengan menganalisis penerapan/aplikasi dari dinamika rotasi, guru memberikan penghargaan untuk materi pelajaran mengidentifikasi dinamika rotasi, peserta didik yang memiliki kinerja dan kerjasama yang baik. Memberikan tugas kepada peserta didik untuk melihat video dengan link <https://www.youtube.com/watch?v=fB535YXLINY> dan <https://www.youtube.com/watch?v=LJhyM0kwd1U>

**C. Penilaian Pembelajaran.**

1. Penilaian Sikap
2. Penilaian Pengetahuan
3. Penilaian Keterampilan

: Observasi dan aplikasi sikap google form  
: Tes Tertulis  
: Praktik LKPD, *Produk Presentation Report*

**Mengetahui,**  
Kepala Sekolah



Fatma Ainie, S.I.P., M.M.

**Wonosobo, Juli 2020**  
Guru mapel

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Nur Khikmah".

Nur Khikmah, S.Pd

## LEMBAR PENGAMATAN PENILAIAN SIKAP PENILAIAN OBSERVASI

**Rubrik:**

**Indikator sikap aktif dalam pembelajaran:**

1. Kurang baik *jika* menunjukkan sama sekali tidak ambil bagian dalam pembelajaran
2. Cukup *jika* menunjukkan ada sedikit usaha ambil bagian dalam pembelajaran tetapi belum ajeg/konsisten
3. Baik *jika* menunjukkan sudah ada usaha ambil bagian dalam pembelajaran tetapi belum ajeg/konsisten
4. Sangat baik *jika* menunjukkan sudah ambil bagian dalam menyelesaikan tugas kelompok secara terus menerus dan ajeg/konsisten

**Indikator sikap bekerjasama dalam kegiatan kelompok.**

1. Kurang baik *jika* sama sekali tidak berusaha untuk bekerjasama dalam kegiatan kelompok.
2. Cukup *jika* menunjukkan ada sedikit usaha untuk bekerjasama dalam kegiatan kelompok tetapi masih belum ajeg/konsisten.
3. Baik *jika* menunjukkan sudah ada usaha untuk bekerjasama dalam kegiatan kelompok tetapi masih belum ajeg/konsisten.
4. Sangat baik *jika* menunjukkan adanya usaha bekerjasama dalam kegiatan kelompok secara terus menerus dan ajeg/konsisten.

**Indikator sikap toleran terhadap proses pemecahan masalah yang berbedadan kreatif.**

1. Kurang baik *jika* sama sekali tidak bersikap toleran terhadap proses pemecahan masalah yang berbeda dan kreatif.
2. Cukup *jika* menunjukkan ada sedikit usaha untuk bersikap toleran terhadap proses pemecahan masalah yang berbeda dan kreatif tetapi masuih belum ajeg/konsisten
3. Baik *jika* menunjukkan sudah ada usaha untuk bersikap toleran terhadap proses pemecahan masalah yang berbeda dan kreatif tetapi masuih belum ajeg/konsisten.
4. Sangat baik *jika* menunjukkan sudah ada usaha untuk bersikap toleran terhadap proses pemecahan masalah yang berbeda dan kreatif secara terus menerus dan ajeg/konsisten.

Bubuhkan tanda (√) pada kolom-kolom sesuai hasil pengamatan.

No	Nama Siswa	SIKAP																											
		Tanggung Jawab				Jujur				Peduli				Kerjasama				Santun				Percaya diri				Disiplin			
		K	C	B	S	K	C	B	S	K	C	B	S	K	C	B	S	K	C	B	S	K	C	B	S	K	C	B	S
		R	K	A	B	R	K	A	B	R	K	A	B	R	K	A	B	R	K	A	B	R	K	A	B	R	K	A	B
		25	50	75	100	25	50	75	100	25	50	75	100	25	50	75	100	25	50	75	100	25	50	75	100	25	50	75	100
1																													
2																													
3																													
4																													
5																													

K : Kurang                      C: Cukup                      B: Baik                      SB : Baik Sekali

## REKAPITULASI PENILAIAN SIKAP – OBSERVASI

NO	NAMA SISWA	SIKAP							Skor Rata-rata
		Tanggung Jawab	Jujur	Pedul	Kerja Sama	Santun	Percaya Diri	Disiplin	
1									
2									
3									

### Lembar Penilaian Sikap - Observasi pada Kegiatan Praktikum

Mata Pelajaran : .....  
 Kelas/Semester : .....  
 Topik/Subtopik : .....  
 Indikator : Peserta didik menunjukkan perilaku ilmiah disiplin, tanggung jawab, jujur, teliti dalam melakukan percobaan .....

No	Nama Siswa	Disiplin	Tanggung Jawab	Kerja sama	Teliti	Kreatif	Peduli Lingkungan	Keterangan
1								
2								
3								
....								

Kolom Aspek perilaku diisi dengan angka yang sesuai dengan kriteria berikut :  
 100 = sangat baik    75 = baik    50 = cukup    25 = kurang

### Lembar Penilaian Sikap - Observasi pada Kegiatan Diskusi

Mata Pelajaran : .....  
 Kelas/Semester : .....  
 Topik/Subtopik : .....  
 Indikator : Peserta didik menunjukkan perilaku kerja sama, santun, toleran, responsif dan proaktif serta bijaksana sebagai wujud kemampuan memecahkan masalah dan membuat keputusan.

No	Nama Siswa	Kerja sama	Rasa Ingin Tahu	Santun	Komunikatif	Keterangan
1						
2						
3						
....						

Kolom Aspek perilaku diisi dengan angka yang sesuai dengan kriteria berikut.  
 100 = sangat baik    75 = baik    50 = cukup    25 = kurang

### LEMBAR PENILAIAN SIKAP – DIRI

PENILAIAN DIRI	
Nama : ... Kelas : ... Kelompok : ...	
Untuk pertanyaan 1 sampai dengan 6, tulis masing-masing huruf sesuai dengan pendapatmu!  100 = Selalu                      75 = Sering                      50 = Jarang                      25 = Tidak Pernah	
1	Saya memiliki motivasi dalam diri saya sendiri selama proses pembelajaran
2	Saya bekerjasama dalam menyelesaikan tugas kelompok
3	Saya menunjukkan sikap konsisten dalam proses pembelajaran
4	Saya menunjukkan sikap disiplin dalam menyelesaikan tugas individu maupun kelompok
5	Saya menunjukkan rasa percaya diri dalam mengemukakan gagasan, bertanya, atau menyajikan hasil diskusi
6	Saya menunjukkan sikap toleransi dan saling menghargai terhadap perbedaan pendapat/cara dalam menyelesaikan masalah
7	Saya menunjukkan sikap positif (individu dan social) dalam diskusi kelompok
8	Saya menunjukkan sikap ilmiah pada saat melaksanakan studi literatur atau pencarian informasi
9	Saya menunjukkan perilaku dan sikap menerima, menghargai, dan melaksanakan kejujuran, kerja keras, disiplin dan tanggung jawab
7	Selama kegiatan pembelajaran, tugas apa yang kamu lakukan? ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....

Pedoman Penskoran :      Skor 100, jika A = Selalu                      Skor 75, jika B = Sering  
                                       Skor 50, jika C = Jarang                      Skor 25, jika D = Tidak  
                                       pernah

Skor Perolehan =  $\frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{24}$

### LEMBAR PENILAIAN SIKAP - JURNAL

Nama Siswa : .....  
 Kelas : .....

No.	Hari/Tanggal	Sikap/Perilaku		Keterangan
		Positif	Negatif	
1				
2				
3				
4				
5				
...				

**Kesimpulan :**  
 .....

Penilaian Sikap - Jurnal	
Nama Peserta Didik :	.....
Kelas :	.....
Aspek yang diamati :	.....

No	Hari/tanggal	Kejadian	Keterangan / Tindak Lanjut
1			
2			
3			
4			
5			
....			

Nilai jurnal menggunakan skala Sangat Baik (SB) = 100, Baik (B) = 75, Cukup (C) = 50, dan Kurang (K) = 25

**LEMBAR PENILAIAN PENGETAHUAN TERTULIS**

(Bentuk Uraian)

Soal Tes Uraian :

Kunci Jawaban Soal Uraian dan Pedoman Penskoran

Alternatif jawaban	Penyelesaian	Skor
1		2
2		2
3		2
4		2
5		2
<b>Jumlah</b>		<b>10</b>

Nilai =  $\frac{\text{jumlah skor yang diperoleh}}{5} \times 10$

Penilaian Pengetahuan - Tes Tulis Uraian		
Topik	: .....	
Indikator	: .....	
Soal	: .....	
	a.	.....
	b.	.....
Jawaban	:	
	a.	.....
	b.	.....
Pedoman Penskoran		
No	Jawaban	Skor
a.		
b.		
Skor maksimal		

Penilaian Sikap - Diri setelah peserta didik selesai belajar satu KD			
Topik	: .....		
Nama	: .....		
Kelas	: .....		
Setelah mempelajari materi ....., Anda dapat melakukan penilaian diri dengan cara memberikan tanda V pada kolom yang tersedia sesuai dengan kemampuan			
No	Pernyataan	Sudah Memahami	Belum Memahami
1	Memahami .....		
2	Memahami .....		
3	Memahami .....		
4	Memahami .....		
<b>REKAPITULASI PENILAIAN DIRI PESERTA DIDIK</b>			
Mata Pelajaran : .....			





**LEMBAR PENILAIAN PENGETAHUAN**  
*Observasi terhadap Diskusi Tanya Jawab dan Percakapan*

KELAS : .....

No	Nama Peserta Didik	Pernyataan							
		Pengungkapan gagasan yang orisinal		Kebenaran Konsep		Ketepatan penggunaan istilah		Dan lain sebagainya	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
1									
2									
3									
.									
.									
.									

Penilaian pengetahuan - Observasi Terhadap Diskusi, Tanya Jawab dan Percakapan									
Nama Peserta Didik	Pernyataan						Jumlah		
	Pengungkapan gagasan yang orisinal		Kebenaran konsep		Ketepatan penggunaan istilah				
	YA	TIDAK	YA	TIDAK	YA	TIDAK	YA	TIDAK	
Dahniar									
Gina									
....									

**LEMBAR PENILAIAN PENGETAHUAN**

*PENILAIAN PENUGASAN*

Penilaian Pengetahuan - Penugasan	
Mengidentifikasi .....	
Tugas : Menyusun laporan hasil percobaan tentang .....secara tertulis dengan berbagai media.	
Indikator : membuat laporan hasil percobaan cara kerja .....	
Langkah Tugas :	
1. Lakukan observasi ke pasar atau tempat lainnya untuk mendapatkan informasi mengenai .....	
2. Datalah yang kamu dapatkan dalam bentuk tabel yang berisi ....., .....	
3. Diskusikan hasil observasi yang kamu lakukan bersama teman-temanmu untuk menjawab pertanyaan berikut:	
4. Tuliskan hasil kegiatannmu dalam bentuk laporan dan dikumpulkan serta dipresentasikan pada kegiatan pembelajaran berikutnya	

**Rubrik Penilaian**

No.	Kriteria	Kelompok								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	Kesesuaian dengan konsep dan prinsip <b>bidang studi</b>									
2	Ketepatan memilih bahan									
3	Kreativitas									
4	Ketepatan waktu pengumpulan tugas									
5	Kerapihan hasil									
	Jumlah skor									

Keterangan:                      100 = sangat baik,                      75 = baik,                      50 = cukup baik,                      25 = kurang baik

Nilai Perolehan =  $\frac{\text{JumlahSkor}}{20}$

**LEMBAR PENILAIAN KETERAMPILAN - UNJUK KERJA**

Pekerjaan :

- .....
- .....
- .....
- .....

**Tabel : Rubrik Penilaian Unjuk Kerja**

Tingkat	Kriteria
4	Jawaban menunjukkan penerapan konsep mendasar yang berhubungandengan tugas ini. <i>Ciri-ciri:</i> Semua jawaban benar,sesuai dengan prosedur operasi dan penerapan konsep yang berhubungandengan tugas ini
3	Jawaban menunjukkan penerapan konsep mendasar yang berhubungandengan tugas ini. <i>Ciri-ciri:</i> Semua jawaban benar tetapi ada cara yang tidak sesuai atau ada satu jawaban salah. Sedikitkesalahanperhitungandapatditerima
2	Jawaban menunjukkan keterbatasan atau kurang memahami masalah yang berhubungan dengan tugas ini. <i>Ciri-ciri:</i> Ada jawaban yang benar dan sesuai dengan prosedur, dan ada jawaban tidak sesuai dengan permasalahan yang ditanyakan.
1	Jawaban hanya menunjukkan sedikit atau sama sekali tidak ada pengetahuanbahasa Inggris yang berhubungan dengan masalah ini. <i>Ciri-ciri:</i> Semua jawaban salah, atau Jawaban benar tetapi tidak diperoleh melalui prosedur yang benar.
0	Tidak ada jawaban atau lembar kerja kosong

**LEMBAR PENILAIAN KETERAMPILAN- UNJUK KERJA**

KELAS : .....

No	Nama Siswa	Tingkat				Nilai	Ket.
		4	3	2	1		
1							
2							
3							

Lembar Pengamatan						
Penilaian Keterampilan - Unjuk Kerja/Kinerja/Praktik						
Topik : .....						
KI : .....						
KD : .....						
Indikator : .....						
No	Nama	Persiapan Percobaan	Pelaksanaan Percobaan	Kegiatan Akhir Percobaan	Jumlah Skor	
1						
2						
3						
....						

## MATERI DINAMIKA ROTASI

### A. MOMEN GAYA (TORSI)

Torsi adalah kemampuan suatu gaya untuk dapat menyebabkan gerakan rotasi. Besarnya torsi terhadap suatu titik sama dengan perkalian gaya dengan lengan momen.

$$\tau = rF \sin \theta \quad (\text{persamaan 1})$$

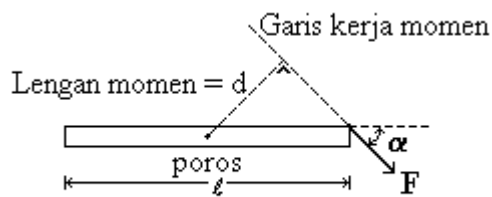
$\tau$  : torsi (Nm)

$r$  : jarak titik tumpu ke titik tempat gaya mengenai benda (m)

$F$  : gaya yang bekerja (N)

$\theta$  : sudut antara vektor  $r$  dan vektor  $F$

Lengan momen adalah panjang garis yang ditarik dari titik poros sampai memotong tegak lurus garis kerja gaya.



Gambar :1

Perjanjian tanda untuk MOMEN GAYA.

Momen gaya yang searah jarum jam bertanda POSITIF.

Momen gaya yang berlawanan arah jarum jam bertanda NEGATIF.

### B. MOMEN INERSIA

Sebuah benda yang berotasi pada sumbunya cenderung untuk terus berotasi pada sumbunya selama tidak ada momen gaya luar yang bekerja padanya. Ukuran yang menentukan kelembaman benda terhadap gerak rotasi dinamakan momen inersia ( $I$ ). Momen inersia suatu benda bergantung pada massa benda dan jarak massa tersebut terhadap sumbu rotasi. Jika benda berupa partikel atau titik partikel bermassa  $m$  berotasi mengelilingi sumbu putar yang berjarak  $r$ , momen inersia partikel itu dinyatakan dengan persamaan

$$I = mr^2 \quad (\text{persamaan 2})$$

Dengan

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

$m$  = massa benda (kg)

$r$  = jarak terhadap sumbu (m)

Dari persamaan 1 dapat disimpulkan bahwa momen inersia suatu partikel berbanding lurus dengan massa partikel dan kuadrat jarak partikel tersebut terhadap sumbu rotasinya. Dengan demikian, semakin jauh jarak poros sumbu rotasi suatu benda, semakin besar momen inersia benda tersebut akan semakin besar. Prinsip ini banyak digunakan dalam atraksi sirkus, misalnya atraksi berjalan pada seutas tali. Dalam atraksi tersebut, pemain



akrobat membawa sepotong tongkat panjang yang akan memperbesar momen inersianya sehingga dapat menyeimbangkan badannya saat berjalan pada tali tersebut.

Gambar 2

Apabila terdapat banyak partikel sejumlah  $n$  dengan massanya masing-masing  $m_1, m_2, m_3$ , sampai dengan  $m_n$  serta jarak sumbu rotasi masing-masing  $r_1, r_2, r_3$ , sampai dengan  $r_n$ . Momen inersia total partikel tersebut adalah penjumlahan momen inersia setiap partikel. Secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2 \quad (\text{persamaan 3})$$

Untuk benda tegar yang massanya terdistribusi secara kontinyu digunakan integral untuk menentukan momen inersianya

$$I = \int r^2 dm \quad (\text{persamaan 4})$$

Apabila momen inersia suatu benda yang sumbunya melalui pusat massa  $I_{pm}$  diketahui. Momen inersia benda tersebut jika sumbunya digeser sejauh  $d$  dan sejajar dengan sumbu yang melewati pusat massa dapat dihitung dengan **teori sumbu sejajar**.

$$I = I_{pm} + md^2 \quad (\text{persamaan 5})$$

Dengan

$I$  = Momen inersia yang sejajar  $I_{pm}$

$I_{pm}$  = momen inersia yang melewati pusat massa

$m$  = massa benda

$d$  = jarak sumbu dengan sumbu pusat massa

## KESEIMBANGAN BENDA TEGAR

Keseimbangan translasi adalah keseimbangan yang dialami benda ketika bergerak dengan kecepatan linear konstan ( $v$  konstan) atau tidak mengalami perubahan linear ( $a=0$ ). *Keseimbangan rotasi* adalah keseimbangan yang dialami benda ketika bergerak dengan kecepatan sudut konstan ( $\omega$  konstan) atau tidak mengalami percepatan sudut ( $\alpha = 0$ ).

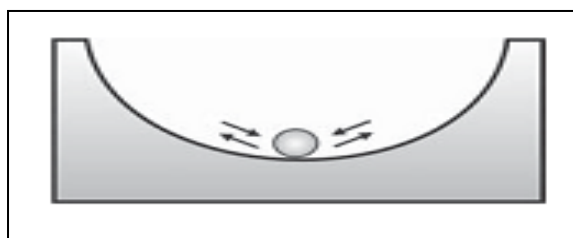
Jika sebuah benda yang berada dalam keadaan seimbang stabil dipengaruhi oleh gaya luar, maka benda tersebut mengalami gerak translasi (mengggeser) dan gerak rotasi (mengguling). Gerak translasi (mengggeser) disebabkan oleh gaya, sedangkan gerak rotasi (mengguling) disebabkan oleh momen gaya. Oleh karena itu, Anda dapat menyatakan syarat-syarat kapan suatu benda akan mengggeser, mengguling, atau mengguling (mengggeser dan mengguling).

- Syarat benda mengggeser adalah  $\Sigma F \neq 0$  dan  $\Sigma \tau = 0$
- Syarat benda mengguling adalah  $\Sigma F = 0$  dan  $\Sigma \tau \neq 0$
- Syarat benda mengguling adalah  $\Sigma F \neq 0$  dan  $\Sigma \tau \neq 0$

Berdasarkan kedudukan titik beratnya, keseimbangan benda ketika dalam keadaan diam (keseimbangan statis) dikelompokkan menjadi tiga, yaitu keseimbangan stabil, keseimbangan labil, dan keseimbangan indeferen.

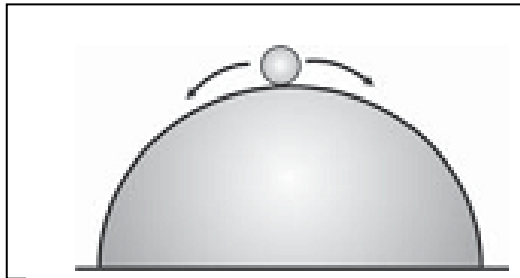
### 1. Keseimbangan Stabil

Keseimbangan stabil adalah keseimbangan yang dialami benda di mana apabila dipengaruhi oleh gaya atau gangguan kecil benda tersebut akan segera ke posisi keseimbangan semula. Gambar 6.14 menunjukkan sebuah kelereng yang ditempatkan dalam bidang cekung. Ketika diberi gangguan kecil dan kemudian dihilangkan, kelereng akan kembali ke posisi semula. Keseimbangan stabil ditandai oleh adanya kenaikan titik benda jika dipengaruhi suatu gaya.



## 2. Keseimbangan Labil

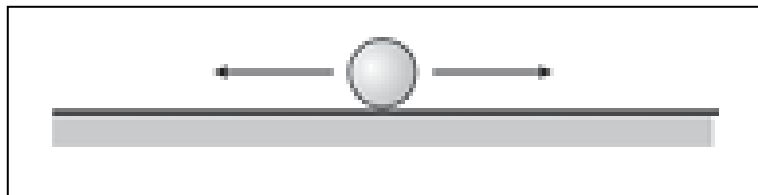
Keseimbangan labil adalah keseimbangan yang dialami benda yang apabila diberikan sedikit gangguan benda tersebut tidak bisa kembali ke posisi keseimbangan semula. Pada Gambar 6.15 menunjukkan sebuah kelereng yang ditempatkan di atas bidang cembung. Ketika diberi gangguan kecil dan kemudian dihilangkan, kelereng tidak akan pernah kembali ke posisi awalnya. Keseimbangan labil ditandai oleh adanya penurunan titik berat benda jika dipengaruhi suatu gaya.



Gambar 4

## 3. Keseimbangan Indeferen atau Netral

Keseimbangan indeferen atau netral adalah keseimbangan yang dialami benda yang apabila diberikan sedikit gangguan benda tersebut tidak mengalami perubahan titik berat benda. Pada Gambar 6.16 menunjukkan sebuah kelereng yang ditempatkan di atas sebuah bidang datar. Ketika diberi gangguan kecil dan kemudian dihilangkan, kelereng akan kembali diam pada kedudukan yang berbeda. Keseimbangan netral ditandai oleh tidak adanya perubahan pasti titik berat jika dipengaruhi suatu gaya.



Gambar 5

Pada umumnya benda yang sedang bergerak mengalami gerak translasi dan rotasi. Suatu benda dikatakan setimbang apabila benda memiliki kesetimbangan translasi dan kesetimbangan rotasi. Dengan demikian, syarat kesetimbangan benda adalah resultan gaya dan momen gaya terhadap suatu titik sembarang sama dengan nol.

Secara matematis syarat keseimbangan benda tegar dapat ditulis sebagai

$$\Sigma F = 0 \text{ dan } \Sigma \tau = 0 \quad (\text{persamaan 6})$$

### 1. Keseimbangan statis sistem Partikel

Dalam sistem partikel, benda dianggap sebagai suatu titik materi. Semua gaya yang bekerja pada benda dianggap bekerja pada titik materi tersebut, sehingga gaya yang bekerja pada partikel hanya menyebabkan gerak translasi (tidak menyebabkan gerak rotasi). Oleh karena itu, syarat yang berlaku bagi keseimbangan sistem partikel hanyalah keseimbangan translasi.

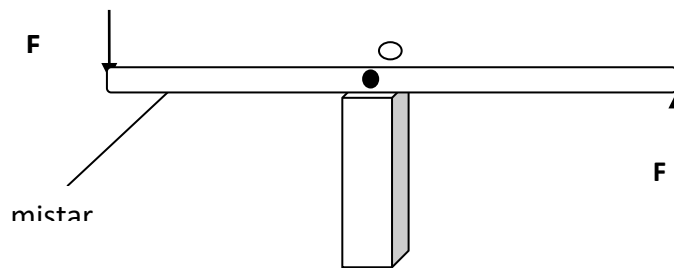
$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \text{ dan } \Sigma \tau = 0 \quad (\text{persamaan 7})$$

Anda telah mengetahui bahwa  $\Sigma F = 0$  bisa berarti benda terus diam atau benda bergerak lurus beraturan. Nah, keseimbangan yang dimaksud dalam bab ini adalah keseimbangan statis sistem partikel, yang berarti  $\Sigma F = 0$  dan benda terus diam. Jika  $\Sigma F = 0$  tetapi benda bergerak lurus beraturan, ini adalah keseimbangan kinetis.

### 2. Syarat keseimbangan statis benda tegar

Suatu benda tegar disebut seimbang statis jika benda tegar itu tidak bergerak translasi dan juga tidak bergerak rotasi. Telah anda ketahui bahwa sistem partikel

syarat keseimbangan statis cukup  $\Sigma F = 0$  dan benda mula-mula diam. Pada gambar diilustrasikan bahwa walaupun  $\Sigma F = +F - F = 0$ , tetapi mistar masih bisa berotasi terhadap poros O. Rotasi ini terjadi karena torsi total terhadap poros O tidak nol  $\Sigma \tau \neq 0$



Gambar 6

Supaya mistar tak berotasi, maka resultan torsi pada titik apa saja yang diambil sebagai poros haruslah nol  $\Sigma \tau = 0$ . Akhirnya, dapatlah kita nyatakan syarat keseimbangan statis benda tegar sebagai berikut.

***Suatu benda tegar berada dalam keseimbangan statis bila mula-mula benda dalam keadaan diam dan resultan gaya pada benda sama dengan nol, serta torsi terhadap titik sembarang yang dipilih sebagai poros sama dengan nol.***

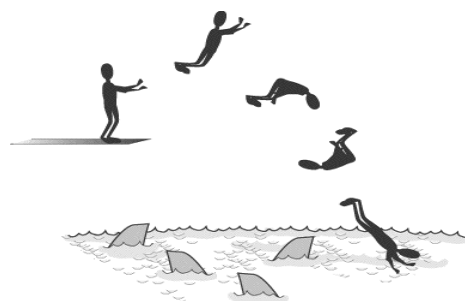
Syarat keseimbangan statis benda tegar yang terletak pada suatu bidang datar ( Misal bidang XY ) dinyatakan sebagai berikut :

$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \text{ dan } \Sigma \tau = 0 \quad (\text{persamaan 8})$$

Untuk menerapkan syarat  $\Sigma \tau = 0$ , kita harus memilih pusat momen (titik) di mana banyak gaya-gaya yang besarnya belum diketahui dan gaya tersebut tidak ditanyakan sehingga momen gayanya sama dengan nol. Apabila kita dapat memilih dengan tepat pusat momen, soal-soal keseimbangan sering hanya diselesaikan dengan syarat  $\Sigma \tau = 0$

### C. TITIK BERAT

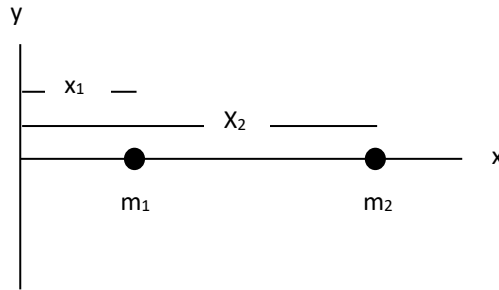
Pengamatan-pengamatan pada gerak benda menunjukkan bahwa walaupun sebuah benda berotasi atau ada beberapa benda yang bergerak relatif satu dengan yang lainnya, ada satu titik yang bergerak dalam lintasan yang sama dengan yang dilewati partikel jika mendapat gaya yang sama. Titik ini disebut sebagai pusat massa (PM).



Gambar 7

Lihatlah gerak pusat massa penerjun pada gambar 7. PM mengikuti lintasan parabola bahkan ketika si penerjun berotasi. Lintasan ini sama dengan lintasan parabola yang dibentuk partikel yang ditembakkan jika hanya mengalami gaya gravitasi (gerak peluru).

Kita dapat menganggap benda yang diperluas terdiri dari banyak partikel kecil. Tetapi kita bayangkan sebuah sistem yang hanya terdiri dari dua partikel dengan massa  $m_1$  dan  $m_2$ . Kita pilih sistem koordinat sedemikian sehingga kedua partikel berada pada sumbu x pada posisi  $x_1$  dan  $x_2$  pada gambar 8.



Gambar 8

Pusat massa sistem ini didefinisikan pada posisi  $X_{PM}$ , yang dinyatakan dengan

$$X_{PM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{M} \quad (\text{persamaan 9})$$

dimana  $M = m_1 + m_2$  adalah massa total sistem. Pusat massa berada pada garis yang menghubungkan  $m_1$  dan  $m_2$ . Jika kedua massa sama ( $m_1 = m_2 = m$ ),  $X_{PM}$  berada di tengah antara antara keduanya, karena dalam hal ini

$$X_{PM} = \frac{m(x_1 + x_2)}{2m} = \frac{(x_1 + x_2)}{2} \quad (\text{persamaan 10})$$

Jika satu massa lebih besar dari yang lain, katakanlah  $m_1 > m_2$ , maka PM lebih dekat ke massa yang lebih besar. Jika ada lebih dari dua partikel sepanjang satu garis, akan ada suku-suku tambahan.

Konsep titik berat ini hampir sama dengan pusat massa. Jika bentuk benda simetris, pusat massa dengan mudah ditentukan. Pusat massa untuk benda di atas tepat berada di tengah-tengah. Jika bentuk benda tidak simetris atau tidak beraturan, maka pusat massa benda bisa ditentukan menggunakan persamaan. Jika benda berada pada tempat yang memiliki nilai percepatan gravitasi ( $g$ ) yang sama, maka gaya gravitasi bisa dianggap bekerja pada pusat massa benda itu. Untuk kasus seperti ini, **titik berat** benda berada pada pusat massa benda.

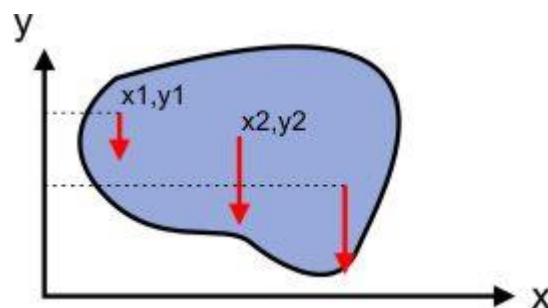
Setiap benda terdiri atas titik-titik materi atau partikel yang masing-masing memiliki berat. Resultan dari seluruh berat partikel disebut gaya berat benda. Titik tangkap gaya berat merupakan titik berat benda. Selain itu, titik berat merupakan suatu titik dalam suatu benda (dapat juga di luar benda) dimana gaya berat benda bekerja secara efektif.

Titik berat suatu benda dapat saja terletak di luar benda, misalnya pada sebuah cincin.

### 1. Titik Berat Benda Bentuk Tidak Teratur

#### a. Menentukan titik berat benda

Untuk benda-benda homogen yang memiliki bentuk teratur, sehingga memiliki garis atau bidang simetris, maka titik berat benda terletak pada garis atau bidang simetri tersebut.



Gambar 9

Perhatikan gambar di atas. Misalkan ada sebuah benda tegar yang dibagi-bagi menjadi beberapa bagian-bagian yang lebih kecil. Bagian-bagian tersebut kemudian kita sebut dengan partikel. Jika kita namakan partikel tersebut partikel 1,2,3,..., n dan masing-masing memiliki berat  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$  dan masing-masing memiliki titik

tangkap gaya berat di  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ . Setiap partikel akan menghasilkan suatu momen gaya terhadap titik asal koordinat yang besarnya sama dengan perkalian gaya berat (massa  $\times$  g) dikali dengan lengan momennya ( $x$ ).

$$\tau_1 = W_1 \cdot x_1$$

$$\tau_2 = W_2 \cdot x_2$$

$$\tau_3 = W_3 \cdot x_3$$

$$\tau_n = W_n \cdot x_n$$

Selanjutnya yaitu menentukan koordinat gaya berat ( $W$ ) yang akan menghasilkan efek yang sama dengan semua pada semua partikel-partikel yang menyusunnya. Dari momen gaya total yang dihasilkan oleh  $W$  yang bekerja pada titik berat (misal  $x_0$ ) dirumuskan

$$\tau_0 = W \cdot x_0 = W_1 \cdot x_1 + W_2 \cdot x_2 + W_3 \cdot x_3 + \dots + W_n \cdot x_n \quad (\text{persamaan 11})$$

karena  $W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n$  maka didapat rumus titik berat benda

$$x_0 = \frac{W_1 x_1 + W_2 x_2 + W_3 x_3 + \dots + W_n x_n}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n} \quad (\text{persamaan 12})$$

Seandainya benda dan sumbu-sumbu pembandinganya (sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ) diputar 90 derajat maka gaya gravitasi akan berputar 90 derajat pula. Tidak ada perubahan sedikitpun pada berat total benda. Tetapi besarnya momen gaya dari tiap partikel akan berubah karena lengan momennya bukan lagi jarak  $x$  dari titik pusat melainkan jarak  $y$  dari titik pusat. Jika titik berat benda pada sumbu  $y$  adalah  $y_0$  maka cara menentukan posisi  $y_0$  bisa menggunakan rumus

$$y_0 = \frac{W_1 y_1 + W_2 y_2 + W_3 y_3 + \dots + W_n y_n}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n} \quad (\text{persamaan 13})$$

Dari kedua rumus di atas, bisa perhatikan kalau dari rumus  $W = m \cdot g$  sehingga  $W_1 = m_1 \cdot g_1$ ,  $W_2 = m_2 \cdot g_2$ , dan seterusnya dengan demikian variabel  $g$  (percepatan gravitasi) dapat kita coret sehingga kita bisa mencari titik berat benda dari massa partikel dengan menggunakan rumus.

Mengingat gaya berat  $w = m \cdot g$  sedangkan nilai  $g$  tergantung pada posisi benda dalam medan gravitasi, maka sebenarnya titik berat benda tidak sama dengan pusat massa. Namun, hampir semua persoalan mekanika hanya menyangkut benda-benda berukuran kecil dibandingkan jarak yang dapat memberikan perubahan nilai  $g$  yang signifikan. Oleh karena itu, nilai  $g$  dapat dianggap seragam atau sama pada seluruh bagian benda. Akibatnya, titik pusat massa juga dapat dianggap sebagai satu titik yang sama. Koordinat titik pusat massa ( $X_{pm}, Y_{pm}$ )

$$x_0 = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \quad (\text{persamaan 14})$$

$$y_0 = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \quad (\text{persamaan 15})$$

Keterangan:

$x_0$  = absis ( $x$ ) dari titik berat benda

$y_0$  = ordinat ( $y$ ) dari titik berat benda

$m_i$  = massa partikel ke- $i$

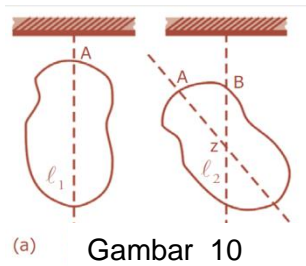
$x_i$  = absis titik tangkap dari partikel ke- $i$

$y_i$  = ordinat titik tangkap dari partikel ke- $i$

Sementara itu, untuk benda-benda yang tidak teratur, titik beratnya dapat ditentukan dengan cara berikut ini.



Pada Gambar 10, benda digantung dengan tali di titik A dengan  $l_1$  sebagai perpanjangannya. Kemudian benda digantung pada bagian lain titik B dengan  $l_1$  dan  $l_2$  berpotongan di suatu titik. Itulah yang merupakan titik berat benda ( $z$ ).



## 2. Titik Berat Benda Bentuk Teratur

Titik berat beberapa benda homogen yang berdimensi satu, dua dan tiga dapat dilihat pada tabel berikut!

**Tabel 1. Titik Berat Benda Homogen Berbentuk Garis**

No	Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat
1.	Garis lurus		$X_0 = 1/2 l$ $z$ : titik tengah garis
2.	Busur Lingkaran		$Y_0 = R \times \frac{\text{tali busur AB}}{\text{busur AB}}$ $R$ : jari-jari lingkaran
3.	Busur setengah lingkaran		$Y_0 = \frac{4R}{3\pi}$ $R$ : jari-jari lingkaran

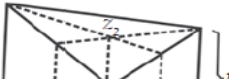
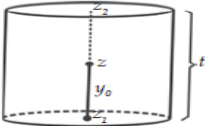
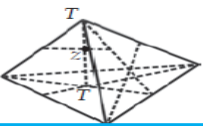
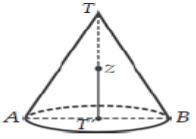
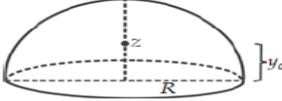
Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

**Tabel 2. Titik Berat Benda Homogen Dimensi Dua**

No	Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat
1.	Segitiga		$Y_0 = \frac{1}{2} t$ $t$ : tinggi segitiga $z$ : perpotongan garis-garis berat AD dan CF
2.	Jajargenjang, belah ketupat, bujur sangkar, persegi panjang		$Y_0 = \frac{2}{3} R \frac{\text{tali busur AB}}{\text{busur AB}}$ $t$ : tinggi segitiga $z$ : perpotongan diagonal AC dan BD
3.	Jaring lingkaran		$Y_0 = \frac{2}{3} R \frac{\text{tali busur AB}}{\text{busur AB}}$ $R$ : jari-jari lingkaran
4.	Setengah lingkaran		$Y_0 = \frac{4R}{3\pi}$ $R$ : jari-jari lingkaran

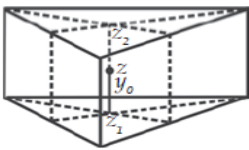
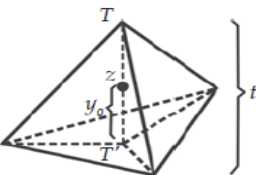
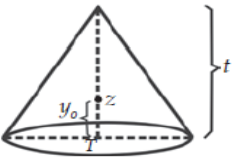
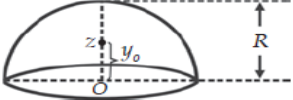
Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Tabel 3. Titik Berat Benda Berupa Selimut Ruang

No	Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat
1.	Kulit prisma		z pada titik tengah garis $z_1 z_2: Y_0 = \frac{1}{2}t$
2.	Kulit silinder (tanpa tutup)		$Y_0 = \frac{1}{2}t$ $t$ : tinggi silinder
3.	Kulit limas		$T'z = \frac{1}{3}T'T$ $T'T$ : garis tinggi ruang
4.	Kulit kerucut		$Y_0 = zT' = \frac{1}{3}T'T$ $T'T$ : tinggi kerucut
5.	Kulit setengah bola		$Y_0 = \frac{1}{2}R$ $R$ : jari-jari bola

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Tabel 4. Titik Berat Benda Pejal Tiga Dimensi

No	Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat
1.	Prisma pejal		$Y_0 = \frac{1}{2}t$ $z_1$ : titik berat bidang alas $z_2$ : titik berat bidang atas $t$ : panjang sisi tegak
3.	Limas pejal beraturan		$Y_0 = \frac{1}{3}t$ $t$ : garis tinggi ruang $V$ : luas alas $\times \frac{1}{3}$ tinggi
4.	Kerucut pejal		$Y_0 = \frac{1}{3}t$ $t$ = tinggi kerucut $V$ = luas alas $\times \frac{1}{3}$ tinggi
5.	Setengah bola pejal		$Y_0 = \frac{3}{8}R$ $R$ : jari-jari bola

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

### 3. Menentukan Titik Berat Benda dari Gabungan Beberapa Benda

Setiap benda terdiri atas partikel partikel yang masing-masing memiliki gaya berat. Semua gaya berat ini dapat dianggap sejajar satu sama lain. Berdasarkan cara penentuan

koordinat titik tangkap gaya resultan, koordinat titik berat-titik berat benda dapat ditentukan sebagai berikut.

$$X_o = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} = \frac{\sum w_n x_n}{\sum w_n}$$

$$Y_o = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 + \dots + w_n y_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} = \frac{\sum w_n y_n}{\sum w_n}$$

(persamaan 16)

Mengingat gaya berat  $w = m g$  sedangkan nilai  $g$  tergantung pada posisi benda dalam medan gravitasi, maka sebenarnya titik berat benda tidak sama dengan pusat massa. Namun, hampir semua persoalan mekanika hanya menyangkut benda-benda berukuran kecil dibandingkan jarak yang dapat memberikan perubahan nilai  $g$  yang signifikan. Oleh karena itu, nilai  $g$  dapat dianggap seragam atau sama pada seluruh bagian benda. Akibatnya, titik pusat massa juga dapat dianggap sebagai satu titik yang sama. Koordinat titik pusat massa ( $X_{pm}, Y_{pm}$ ) dapat Anda turunkan dari koordinat titik berat benda.

$$X_{pm} = X_o = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}$$

$$= \frac{(m_1 g)x_1 + (m_2 g)x_2 + (m_3 g)x_3 + \dots + (m_n g)x_n}{m_1 g + m_2 g + m_3 g + \dots + m_n g}$$

$$= \frac{(m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_n x_n)g}{(m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n)g}$$

$$= \frac{(m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_n x_n)}{(m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n)} = \frac{\sum m_n x_n}{\sum m_n}$$

Menggunakan cara yang sama diperoleh:

$$Y_{pm} = Y_o = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} = \frac{\sum m_n y_n}{\sum m_n}$$

#### a. Titik Berat Benda-Benda Homogen Berbentuk Ruang (Dimensi Tiga)

Massa benda berdimensi tiga ( $m$ ) dapat ditentukan dai hasil kali massa jenis benda ( $\rho$ ) dengan volume benda ( $V$ ). Koordinat titik pusat massa ( $X_{pm}, Y_{pm}$ ) pada benda berdimensi tiga dapat Anda turunkan dari koordinat titik berat benda.

$$X_o = \frac{\rho_1 V_1 x_1 + \rho_2 V_2 x_2 + \rho_3 V_3 x_3 + \dots + \rho_n V_n x_n}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3 + \dots + \rho_n V_n}$$

Benda homogen memiliki massa jenis yang sama ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$ ) sehingga

$$X_o = \frac{\rho(V_1 x_1 + V_2 x_2 + V_3 x_3 + \dots + V_n x_n)}{\rho(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n)} = \frac{V_1 x_1 + V_2 x_2 + V_3 x_3 + \dots + V_n x_n}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}$$

Dengan demikian, koordinat titik berat gabungan beberapa benda homogen berdimensi tiga dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$X_o = \frac{V_1 x_1 + V_2 x_2 + V_3 x_3 + \dots + V_n x_n}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n} = \frac{\sum V_n x_n}{\sum V_n}$$

$$Y_o = \frac{V_1 y_1 + V_2 y_2 + V_3 y_3 + \dots + V_n y_n}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n} = \frac{\sum V_n y_n}{\sum V_n}$$

#### b. Titik Berat Benda-Benda Homogen Berbentuk Luasan

Benda berbentuk luasan atau berdimensi dua merupakan benda yang ketebalannya dapat diabaikan sehingga berat benda sebanding dengan luasnya ( $A$ ). Koordinat titik berat gabungan beberapa benda homogen berbentuk luasan dapat dituliskan sebagai berikut

$$X_o = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + \dots + A_n x_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum A_n x_n}{\sum A_n}$$

$$Y_o = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3 + \dots + A_n y_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum A_n y_n}{\sum A_n}$$

**c. Titik Berat Benda-Benda Homogen Berbentuk Garis**

Benda berbentuk garis atau berdimensi satu merupakan benda yang lebar dan tebalnya dapat diabaikan sehingga berat benda sebanding dengan panjangnya ( $l$ ). Koordinat titik berat gabungan beberapa benda homogen berbentuk garis dituliskan sebagai berikut

$$X_0 = \frac{l_1 x_1 + l_2 x_2 + l_3 x_3 + \dots + l_n x_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n} = \frac{\sum l_n x_n}{\sum l_n}$$

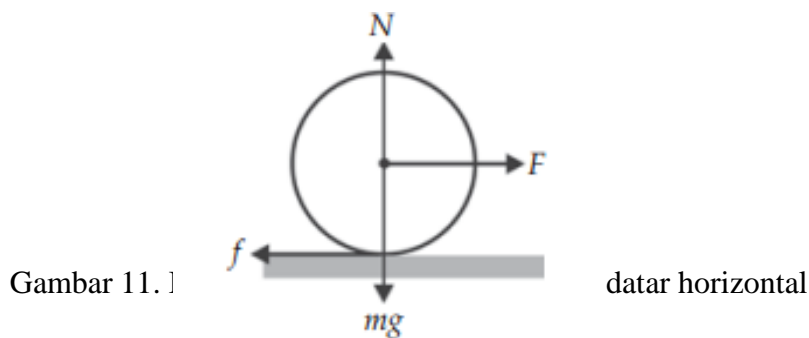
$$Y_0 = \frac{l_1 y_1 + l_2 y_2 + l_3 y_3 + \dots + l_n y_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n} = \frac{\sum l_n y_n}{\sum l_n}$$

**D. GERAK MENGGELINDING**

Bola yang menggelinding di atas bidang akan mengalami dua gerakan sekaligus, yaitu rotasi terhadap sumbu bola dan translasi bidang yang dilalui. Oleh karena itu, benda yang melakukan gerak menggelinding memiliki persamaan rotasi ( $\sum \tau = I \times \alpha$ ) dan persamaan translasi ( $\sum F = m \times a$ ). Besarnya energi kinetik yang dimiliki benda menggelinding adalah jumlah energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi. Anda disini akan mempelajari bola menggelinding pada bidang datar dan bidang miring.

1. Menggelinding pada Bidang Datar

Perhatikan Gambar 11! Sebuah silinder pejal bermassa  $m$  dan berjari-jari  $R$  menggelinding sepanjang bidang datar horizontal. Pada silinder diberikan gaya sebesar  $F$ . Berapakah percepatan silinder tersebut jika silinder menggelinding tanpa selip? Jika silinder bergulir tanpa selip, maka silinder tersebut bergerak secara translasi dan rotasi. Pada kedua macam gerak tersebut berlaku persamaan-persamaan berikut.



- Untuk gerak translasi berlaku persamaan  $F - f = ma$  dan  $N - mg = 0$  (persamaan 17)
- Untuk gerak rotasi berlaku persamaan  $\tau = I \times \alpha$  (persamaan 18)

Karena silinder bergulir tanpa selip, maka harus ada gaya gesekan. Besarnya gaya gesekan pada sistem ini adalah sebagai berikut.

$$I\alpha = fR \leftrightarrow f = \frac{I\alpha}{R} \tag{persamaan 19}$$

Jika  $\alpha = \frac{a}{R}$ , maka  $f = \frac{I}{R} \left( \frac{a}{R} \right) = I \left( \frac{a}{R^2} \right)$

Jika disubstitusikan ke dalam persamaan  $F - f = ma$ , maka persamaanya menjadi seperti berikut.

$$F - I \left( \frac{a}{R^2} \right) = ma$$

$$F = \left( m + \frac{I}{R^2} \right) a$$

$$a = \frac{F}{m + \frac{I}{R^2}}$$

Karena  $I = \frac{1}{2} mR^2$  maka:

$$a = \frac{F}{m + \frac{\frac{1}{2} mR^2}{R^2}} = \frac{F}{m + \frac{1}{2} m} = \frac{2F}{3m}$$

## 2. Menggelinding pada Bidang Miring

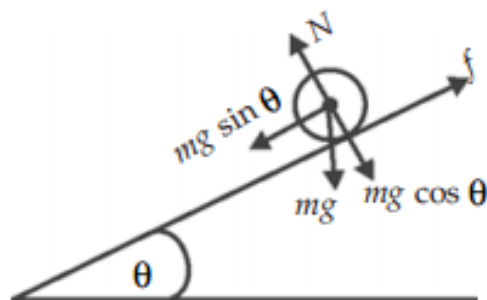
Gerak translasi diperoleh dengan mengasumsikan semua gaya luar bekerja di pusat massa silinder. Menurut hukum Newton:

a. Persamaan gerak dalam arah normal adalah  $N - mg \cos \theta = 0$

b. Persamaan gerak sepanjang bidang miring adalah  $mg \sin \theta - f = ma$

c. Gerak rotasi terhadap pusat massanya  $\tau = I \times \alpha$

Gaya normal N dan gaya berat mg tidak dapat menimbulkan rotasi terhadap titik O. Hal ini disebabkan garis kerja gaya melalui titik O, sehingga lengan momennya sama dengan nol. Persamaan yang berlaku adalah sebagai berikut.



Gambar 12. Menggelinding pada bidang miring.

$$mg \sin \theta - I \left( \frac{a}{R^2} \right) = ma$$

$$\frac{a}{R^2} + ma = mg \sin \theta$$

$$a = \frac{mg \sin \theta}{\frac{1}{R^2} + m}$$

Karena  $I = \frac{1}{2} mR^2$  maka persamannya menjadi seperti berikut

$$a = \frac{mg \sin \theta}{\frac{1}{R^2} + m} = \frac{2}{3} g \sin \theta$$

(persamaan 20)

Berapakah kelajuan benda yang menggelinding saat sampai di dasar bidang miring? Misalnya selisih tinggi vertikal puncak bidang miring dengan dasarnya adalah h meter. Besarnya perubahan tenaga potensial gravitasi menjadi tenaga kinetik yang dialami benda adalah sebagai berikut.  $E_k \text{ translasi} + E_k \text{ rotasi} = E_p \text{ gravitasi}$ .

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

$$\frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I \left( \frac{v}{R} \right) = mgh$$

$$\frac{1}{2}v^2 + \frac{I}{R^2} = mgh$$

$$v^2 = \frac{2mgh}{\left(m + \frac{I}{R^2}\right)}$$

$$v^2 = \frac{2mgh}{\left(m + \frac{kmR^2}{R^2}\right)}$$

$$v^2 = \frac{2mgh}{(m + km)}$$

$$v^2 = \frac{2gh}{(1 + k)}$$

Jadi, kecepatan benda di dasar bidang miring setelah menggelinding adalah sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{(1 + k)}}$$

(persamaan 21)

Catatan:

k adalah bilangan real yang diperoleh dari rumus inersia. Misalkan, untuk:

- silinder pejal  $\rightarrow I = \frac{1}{2} mR^2$   $k = \frac{1}{2}$
- bola pejal  $\rightarrow I = \frac{2}{5} mR^2$   $k = \frac{2}{5}$
- bola berongga  $\rightarrow I = \frac{2}{3} mR^2$   $k = \frac{2}{3}$

## E. KONSERVASI MOMENTUM SUDUT

Pada gerak rotasi, benda mempunyai besaran yang dinamakan momentum sudut yang analog pada gerak translasi yang terdapat besaran momentum linier. *Momentum sudut*, ( $L$ ) merupakan besaran vektor dengan besar berupa hasil kali momen inersia ( $I$ ), dengan kecepatan sudut ( $\omega$ ). Secara matematis, persamaan momentum sudut adalah:

$$L = I \omega \quad \text{(persamaan 22)}$$

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

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

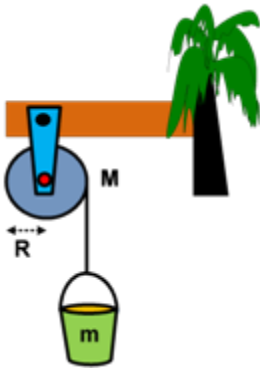
$\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )

Jika momen gaya (torsi) yang bekerja padanya sama dengan nol maka besar momentum sudut total pada benda yang berotasi adalah konstan. Prinsip ini sering disebut dengan hukum konservasi momentum sudut, yang dituliskan dalam persamaan:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 0 \\ L_2 - L_1 &= 0 \\ L_2 &= L_1 \\ I_2 \omega_2 &= I_1 \omega_1 \end{aligned} \quad \text{(persamaan 23)}$$

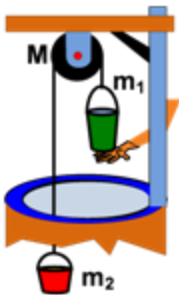
## Instrumen Penilaian Pengetahuan

- Sebuah ember berikut isinya bermassa  $m = 20$  kg dihubungkan dengan tali pada sebuah katrol berbentuk silinder pejal bermassa  $M = 10$  kg. Ember mula-mula ditahan dalam kondisi diam kemudian dilepaskan.



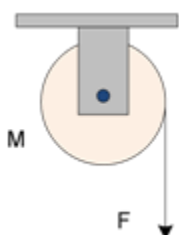
Jika jari-jari katrol 25 cm dan percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ m/s}^2$  tentukan :

- percepatan gerak turunnya benda  $m$
  - percepatan sudut katrol
  - tegangan tali
- Dua buah ember dihubungkan dengan tali dan katrol berjari-jari 10 cm, ditahan dalam kondisi diam kemudian dilepas seperti gambar berikut!



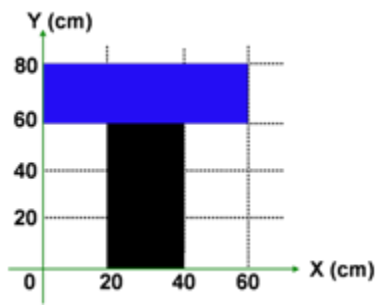
Jika massa  $m_1 = 5$  kg ,  $m_2 = 3$  kg dan massa katrol  $M = 4$  kg, tentukan :

- percepatan gerak ember
  - tegangan tali pada ember 1
  - tegangan tali pada ember 2
- Silinder pejal dengan jari-jari 5 cm bermassa 0,25 kg bertranslasi dengan kelajuan linear 4 m/s. Tentukan energi kinetik silinder jika selain bertranslasi silinder juga berotasi!
  - Sebuah katrol bentuknya silinder pejal dengan massa  $M = 4$  kg ditarik dengan gaya  $F$  hingga berotasi dengan percepatan sudut sebesar  $5 \text{ rad/s}^2$ .



Jika jari-jari katrol adalah 20 cm, tentukan besarnya gaya  $F$  tersebut ! Gunakan momen inersia katrol  $I = \frac{1}{2} Mr^2$

5. Tentukan letak titik berat bangun berupa luasan berikut dihitung dari bidang alasnya!



### Kunci jawaban

1. a) percepatan gerak turunnya benda m

Tinjau katrol :

$$\begin{aligned} \Sigma \tau &= I \alpha \\ Tr &= \frac{1}{2} M r^2 \left( \frac{a}{r} \right) \\ T &= \frac{1}{2} M a = \frac{1}{2} (10) a \\ T &= 5a \end{aligned}$$

(Persamaan 1)

Tinjau benda m :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= m a \\ W - T &= m a \\ 200 - T &= 20a \end{aligned}$$

(Persamaan 2)

Gabung 1 dan 2:

$$\begin{aligned} 200 - T &= 20a \\ 200 - (5a) &= 20a \\ 25a &= 200 \\ a &= 8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

b) percepatan sudut katrol

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{a}{r} \\ \alpha &= \frac{8}{0,25} = 32 \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$

c) tegangan tali

$$\begin{aligned} T &= 5a \\ T &= 5(8) = 40 \text{ Newton} \end{aligned}$$

2. a) percepatan gerak ember

Tinjau katrol



$$\begin{aligned}\Sigma\tau &= I\alpha \\ (T_1 - T_2)r &= I\alpha \\ (T_1 - T_2)r &= \frac{1}{2}Mr^2\frac{a}{r} \\ T_1 - T_2 &= \frac{1}{2}Ma = \frac{1}{2}(4)a \\ T_1 - T_2 &= 2a\end{aligned}$$

Tinjau ember 1

$$\begin{aligned}\Sigma F &= m_1a \\ W_1 - T_1 &= m_1a \\ 50 - T_1 &= 5a \\ T_1 &= 50 - 5a\end{aligned}$$

( Persamaan 2 )

Tinjau ember 2

$$\begin{aligned}\Sigma F &= m_2a \\ T_2 - W_2 &= m_2a \\ T_2 - 30 &= 3a \\ T_2 &= 3a + 30\end{aligned}$$

( Persamaan 3 )

Gabung 2 dan 3

$$\begin{aligned}T_1 &= 50 - 5a \\ T_2 &= 3a + 30 \\ \hline T_1 - T_2 &= 20 - 8a\end{aligned}$$

( Persamaan 4 )

Gabung 1 dan 4

$$\begin{aligned}T_1 - T_2 &= 2a \\ T_1 - T_2 &= 20 - 8a\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2a &= 20 - 8a \\ 10a &= 20 \\ a &= 2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

b) tegangan tali pada ember 1  
Dari persamaan 2

$$\begin{aligned}T_1 &= 50 - 5a \\ T_1 &= 50 - 5(2) = 40 \text{ Newton}\end{aligned}$$

c) tegangan tali pada ember 2  
Dari persamaan 3

$$\begin{aligned}T_2 &= 3a + 30 \\ T_2 &= 3(2) + 30 = 36 \text{ Newton}\end{aligned}$$

3. Data dari soal:  
m = 0,25 kg

$$r = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$Ek = \dots$$

Energi kinetik total dari Silinder pejal

$$Ek = Ek_{trans} + Ek_{rot}$$

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

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}mr^2\right)\left(\frac{v}{r}\right)^2$$

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{4}mv^2 = \frac{3}{4}mv^2$$

$$Ek = \frac{3}{4}(0,25)(4)^2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot 16 = 3 \text{ joule}$$

fisikastudycenter.com

4. Data

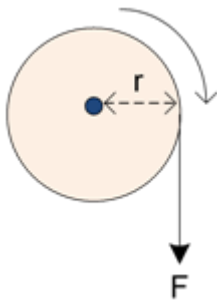
$$M = 4 \text{ kg}$$

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

$$\alpha = 5 \text{ rad/s}^2$$

$$F = \dots$$

Gaya yang bekerja pada katrol dan jaraknya, gaya berat  $w$ , tidak usah diikutkan, karena posisinya tepat di poros, jadi tidak menghasilkan putaran.



Jumlah torsi (perkalian gaya dengan jaraknya) harus sama dengan  $I\alpha$ . Sehingga

$$\Sigma\tau = I\alpha$$

$$F \cdot r = \frac{1}{2}Mr^2\alpha$$

$$F = \frac{1}{2}Mr\alpha = \frac{1}{2}(4)(0,2)(5) = 2 \text{ N}$$

fisikastudycenter.com

5. Data dari soal :

Benda 1 (warna hitam)

$$A_1 = (20 \times 60) = 1200$$

$$Y_1 = 30$$

Benda 2 (warna biru)

$$A_2 = (20 \times 60) = 1200$$

$$Y_2 = (60 + 10) = 70$$

$$Y_o = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$Y_o = \frac{(1200)(30) + (1200)(70)}{1200 + 1200}$$

$$Y_o = \frac{120000}{2400} = 50 \text{ cm}$$

## Penyekoran

Soal no 1-5 masing-masing skornya 10

$$\text{Nilai} = \frac{\text{jumlah skor yang diperoleh}}{\text{skor maksimal}} \times 100$$

## PEMBELAJARAN REMEDIAL DAN PENGAYAAN

### PEMBELAJARAN REMEDIAL

#### 1. Rencana Kegiatan:

- Peserta didik yang belum mencapai kemampuan minimal yang ditetapkan dalam rencana pelaksanaan pembelajaran.
- Pemberian program pembelajaran remedial didasarkan atas latar belakang bahwa pendidik perlu memperhatikan perbedaan individual peserta didik

#### 2. Bentuk Pelaksanaan Remedial:

- Pemberian pembelajaran ulang dengan metode dan media yang berbeda.
- Pemberian bimbingan secara khusus, misalnya bimbingan perorangan.
- Pemanfaatan tutor sebaya.
- dan lain-lain, yang semuanya diakhiri dengan ulangan

#### 3. Teknik Pembelajaran Remedial:

- Penugasan individu diakhiri dengan tes (lisan/tertulis) bila jumlah peserta didik yang mengikuti remedial maksimal 20%
- Penugasan kelompok diakhiri dengan penilaian individual bila jumlah peserta didik yang mengikuti remedi kurang dari 50%
- Pembelajaran ulang diakhiri dengan penilaian individual bila jumlah peserta didik yang mengikuti remedi lebih dari 50 %

#### 4. Nilai Remedial:

Nilai remedial yang ditentukan adalah sesuai dengan KKM, kebijakan ini dilakukan agar tidak ada kesenjangan kepada peserta didik yang sudah mencapai KKM

### PEMBELAJARAN PENGAYAAN

- Peserta didik yang sudah mencapai KKM ( tuntas ) yang ditetapkan dalam rencana pelaksanaan pembelajaran.
- Pemberian program pembelajaran pengayaan berfokus pada pendalaman dan perluasan dari kompetensi yang dipelajari peserta didik
- Dilaksanakan hanya satu kali, tidak berulang kali sebagaimana remedial
- Dilaksanakan dalam bentuk belajar kelompok dan belajar mandiri berdasar minat dari peserta didik, misalnya kegiatan memecahkan masalah dan tutor sebaya
- Kepada peserta didik yang mengikuti pembelajarn pengayaan diberikan reward berdasarkan kebijakan guru dengan melihat minat dan keseriusan, hasil belajar dari peserta didik