



Misteri Batu Bertumpuk

MODUL TEMA 7

**FISIKA PAKET C
SETARA SMA/MA
KELAS XI**



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat
Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan
Tahun 2018

Fisika Paket C - Setara SMA/MA kelas XI
Modul Tema 7 : Misteri Batu Bertumpuk

■ **Penulis:** Sanserlis F. Toweula

■ **Diterbitkan oleh:** Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan-
Ditjen Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat-Kementerian Pendidikan dan
Kebudayaan, 2018

iv+ 64 hlm + ilustrasi + foto; 21 x 28,5 cm

Modul Dinamis: Modul ini merupakan salah satu contoh bahan ajar pendidikan kesetaraan yang berbasis pada kompetensi inti dan kompetensi dasar dan didesain sesuai kurikulum 2013. Sehingga modul ini merupakan dokumen yang bersifat dinamis dan terbuka lebar sesuai dengan kebutuhan dan kondisi daerah masing-masing, namun merujuk pada tercapainya standar kompetensi dasar.

Kata Pengantar

Pendidikan kesetaraan sebagai pendidikan alternatif memberikan layanan kepada masyarakat yang karena kondisi geografis, sosial budaya, ekonomi dan psikologis tidak berkesempatan mengikuti pendidikan dasar dan menengah di jalur pendidikan formal. Kurikulum pendidikan kesetaraan dikembangkan mengacu pada kurikulum 2013 pendidikan dasar dan menengah hasil revisi berdasarkan peraturan Mendikbud No.24 tahun 2016. Proses adaptasi kurikulum 2013 ke dalam kurikulum pendidikan kesetaraan adalah melalui proses kontekstualisasi dan fungsionalisasi dari masing-masing kompetensi dasar, sehingga peserta didik memahami makna dari setiap kompetensi yang dipelajari.

Pembelajaran pendidikan kesetaraan menggunakan prinsip flexible learning sesuai dengan karakteristik peserta didik kesetaraan. Penerapan prinsip pembelajaran tersebut menggunakan sistem pembelajaran modular dimana peserta didik memiliki kebebasan dalam penyelesaian tiap modul yang di sajikan. Konsekuensi dari sistem tersebut adalah perlunya disusun modul pembelajaran pendidikan kesetaraan yang memungkinkan peserta didik untuk belajar dan melakukan evaluasi ketuntasan secara mandiri.

Tahun 2017 Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat mengembangkan modul pembelajaran pendidikan kesetaraan dengan melibatkan Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru dan tutor pendidikan kesetaraan. Modul pendidikan kesetaraan disediakan mulai paket A tingkat kompetensi 2 (kelas 4 Paket A). Sedangkan untuk peserta didik Paket A usia sekolah, modul tingkat kompetensi 1 (Paket A setara SD kelas 1-3) menggunakan buku pelajaran Sekolah Dasar kelas 1-3, karena mereka masih memerlukan banyak bimbingan guru/tutor dan belum bisa belajar secara mandiri.

Kami mengucapkan terimakasih atas partisipasi dari Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru, tutor pendidikan kesetaraan dan semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan modul ini.

Jakarta, Desember 2018
Direktur Jenderal

Harris Iskandar

Daftar Isi

Kata Pengantar

Daftar Isi

Petunjuk Penggunaan Modul

Tujuan Pembelajaran Modul

UNIT 1 Bersahabat Dengan Torsi

A. Momen Gaya

B. Momen Kopel

C. Momen Inersia

Penugasan 1

Latihan 1

UNIT 2 Rahasia Roda Yang Berputar

A. Hubungan Torsi dan percepatan sudut

B. Energi dan Usaha pada Gerak Rotasi

C. Momentum Sudut

D. Hubungan Momen Inersia dan percepatan sudut

Penugasan 2

Latihan 2

UNIT 3 RAHASIA KESETIMBANGAN

A. Syarat Kesetimbangan

B. Pusat Masa

C. Titik Berat Benda

D. Jenis-jenis kesetimbangan

E. Menentukan titik berat benda tidak beraturan

Penugasan 2

Latihan 3

UNIT 4 MAHIR MENELITI

Percobaan menentukan titik berat beberapa benda yang bentuk dan ukurannya tidak beraturan

Penugasan 4

Rangkuman

Uji Kompetensi

Kunci Jawaban

Kriteria Pindah Modul

Saran Referensi

Daftar Pustaka

Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini disusun untuk Palet C kelas XI. Modul ini disusun secara berurutan sesuai dengan urutan materi yang perlu dikuasai. Modul ini dilengkapi dengan uraian materi sebagai sumber pengetahuan, penugasan, latihan soal dan tes formatif untuk menguji pemahaman dan penguasaan materi warga belajar. Agar lebih memahami materi modul ini, lakukanlah langkah-langkah berikut:

1. Pastikan diri Anda sudah siap belajar
2. Berdoalah sebelum memulai belajar
3. Bacalah dan pahami materi dalam modul
4. Catatlah materi yang kurang dipahami
5. Diskusikan materi yang belum dipahami dengan teman atau pendidik
6. Kerjakan latihan dan tugas yang terdapat dalam modul
7. Jika telah memalahi seluruh materi maka kerjakanlah evaluasi akhir modul
8. Selamat belajar!

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini warga belajar diharapkan memahami tentang momen gaya (Torsi), momen Inersia, momentum Sudut dan dan kesetimbangan benda tegar. Dari pemahaman tersebut warga belajar dapat menggunakannya untuk memahami dan menyelesaikan berbagai persoalan gaya dan kesetimbangan yang dijumpai di kehidupan sehari-hari. Berdasarkan pengetahuan tentang torsi dan kesetimbangan benda tegar, warga belajar dapat menentukan letak titik berat benda-benda melalui percobaan sederhana. Melalui pengetahuan dan pemahaman tentang berbagai aspek gaya dan kesetimbangan yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, warga belajar membangkitkan dalam dirinya rasa ingintahu, semangat bekerjasama, bekerja keras, jujur dan bertambah kepercayaan dirinya.

Pengantar Modul

Bacalah dengan cermat informasi berikut ini sampai selesai, lalu Anda dapat meneruskan mempelajari materi yang disajikan.

Misteri Puluhan Batu Bertumpuk di Sukabumi Terungkap

SUKABUMI, KOMPAS.com

Pembuat puluhan batu bertumpuk bersusun di Sungai Cibojong, Desa Jayabakti, Kecamatan Cidahu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, akhirnya terungkap. Pembuatnya adalah seorang pemuda warga desa perbatasan, yakni Rahmat Apandi alias Amat (28). Warga Kampung Pasirdoton, Desa Pasirdoton, Kecamatan Cidahu, ini sehari-hari bekerja sebagai pemulung barang bekas dan kerja serabutan. Terungkapnya pembuat puluhan batu bertumpuk yang sempat menghebohkan ini setelah sejumlah warga di desa setempat mengintip pada Selasa (27/2/2018) pagi.

Seperti diketahui, Kamis (1/2/2018), warga dihebohkan dengan penemuan 90 titik batu bertumpuk di aliran sungai yang melintasi perkampungan. Lalu Senin (26/2/2018), warga kembali menemukan batu bertumpuk itu di 58 titik di aliran Sungai Cibojong. "Selasa (27/2/2018) pagi, kami kembali ke sungai untuk mengintip. Ternyata pembuatnya sedang melanjutkan pekerjaannya menyusun batu," ungkap salah seorang tokoh masyarakat, Ade Suhandi (53), kepada Kompas.com di Kampung Cibojong, Rabu siang. Saat dipergoki, pembuat puluhan batu bersusun itu terlihat kaget. Warga pun sempat tidak menyangka karena pembuat batu



Puluhan batu bertumpuk di Sungai Cibojong, Desa Jayabakti, Kecamatan Cidahu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. (Inset: Rahmat Apandi, pembuat batu bertumpuk di Sungai Cibojong, Cidahu Sukabumi)

bersusun yang sempat menghebohkan warga ini dikenali masyarakat. "Saya sangat mengenal pembuatnya, Rahmat Apandi biasa dipanggil Amat. Bahkan Amat ini sempat kerja bersama saya saat ada proyek perbaikan jalan. Saya benar-benar tidak menyangka, tapi ada rasa bangga," kata dia. Rahmat Apandi alias Amat pembuat batu bertumpuk di Sungai Cibojong, Desa Jayabakti, Cidahu, Sukabumi, Jawa Barat, Rabu (28/2/2018). (KOMPAS.com/BUDIYANTO) Ade menuturkan, pembuat batu bersusun ini orangnya selama ini dikenal masyarakat sangat pendiam. Untuk berkomunikasi pun sangat sulit sekali, termasuk keluarganya. "Sulit sekali diajak bicara. Waktu kerja sama saya saja sangat sulit diajak nobrol," tuturnya. "Selama ini Amat biasa bekerja sehari-harinya mencari barang bekas keliling perkampungan," sambung Ade.

Seorang tetangga Rahmat Apandi, Apet Suherman alias Apih (49), benar-benar tidak menyangka pembuat puluhan batu bersusun yang sempat menghebohkan itu tetangganya. "Jangankan saya, semua tetangga juga pada heran dan gak menyangka," aku Apet saat menemani Kompas.com melihat-lihat hasil puluhan batu di sepanjang aliran Sungai Cibojong. (Baca juga: Heboh Tumpukan Batu di Sukabumi, Warga Minta Pembuatnya Bertanggung Jawab) Dia mengatakan, kedua orangtuanya pun kebingungan setelah mengetahui pembuat puluhan batu yang kali pertama ditemukan pada Kamis (1/2/2018) lalu adalah anaknya. "Keluarganya

pun pada bingung ternyata Amat punya keahlian seperti membuat batu bersusun itu. Karena, Amat ini anaknya susah diajak berkomunikasi," tuturnya. Warga mencoba membuat setelah mengetahui pembuatnya warga desa tetangga yang dibatasi Sungai Cibojong, masyarakat setempat percaya bahwa pembuatan puluhan batu bersusun itu bukan mistis. Mereka ingin melestarikan aktivitas tersebut sebagai salah satu kegiatan seni. Bahkan tidak sedikit di antara warga, berusaha mencoba-coba membuat tumpukan batu secara bersusun di aliran sungai yang berhulu di Gunung Salak itu. "Saya juga sudah bisa. Hanya saja tidak secepat Rahmat. Padahal baru hari ini saya nyoba, waktu penemuan pertama tidak mencoba. Semua orang pasti bisa," pungkas Apih panggilan akrab Apet. Seorang warga, Apet Suherman (49) menunjukkan puluhan batu bertumpuk di Sungai Cibojong, Desa Jayabakti, Kecamatan Cidahu, Sukabumi, Jawa Barat, Rabu (28/2/2018).

Saat ditemui Kompas.com di rumah orangtuanya, Rahmat Apandi mengakui puluhan batu bertumpuk yang ditemukan Kamis (1/2/2018) lalu dan sempat menghebohkan itu memang dibuat oleh dirinya seorang diri.

"Inspirasi mendadak saja. Saat itu mau mencari rongsokan tapi nggak ada," ujar Amat panggilan akrabnya saat berbincang dengan Kompas.com didampingi kedua orangtuanya dan beberapa anggota keluarganya, Rabu sore. Menurut Amat, pembuatan puluhan batu bertumpuk baik yang pertama dan terakhir pada Senin (26/2/2018) dan Selasa (27/2/2018) itu dilakukan pagi hari. Pembuatan batu bersusun tidak lama. "Mengisi waktu senggang saja, sambil mencari rongsokan lalu dijual ke tetangga. Saya ingin mendapatkan uang yang halal," ucap pemuda lulusan Madrasah Aliyah (MA) Al Hudabiyah, Cidahu, ini menjelaskan. "Waktu dipergoki warga kemarin, saya juga kaget. Membuat batu bersusun ini bukan untuk menghebohkan. Ini murni seni," sambung Amat, yang pernah duduk di bangku SMK Teknik Cisaat Jurusan Otomotif. (Baca juga: Pembuat Tumpukan Batu di Sukabumi Akan Diberi Penghargaan) Pemuda berambut panjang sepinggang ini mengaku memiliki cita-cita, yakni membuat atau menyusun batu bertumpuk sepanjang aliran sungai. "Inginnya sih terus membuatnya ke muara," aku Amat. Pada kesempatan itu, Amat juga menyatakan bisa membuat batu bersusun secara spontan dan otodidak. "Tidak bergabung dengan komunitas," pungkas dia.



Seorang warga, Apet Suherman (49) menunjukkan puluhan batu bertumpuk di Sungai Cibojong, Desa Jayabakti, Kecamatan Cidahu, Sukabumi, Jawa Barat,

Sumber : <https://regional.kompas.com/read/2018/03/01/11494101/misteri-puluhan-batu-bertumpuk-di-sukabumi-terungkap?page=all> (Penulis : Kontributor Sukabumi, Budiyanto Editor : Reni Susanti)

Unit 6.1

Bersahabat dengan Torsi

Fisika dapat membantu kita memahami berbagai hal yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Ketika hendak menancapkan paku Anda orang menggunakan palu (martil) yang diberi tangkai yang relatif panjang, ketika memasang gagang pintu rumah Anda akan meletakkannya di sebelah pinggir berseberangan dengan engselnya. Pernahkah Anda terpikir mengapa Palu diberi gagang yang cukup Panjang? Mengapa juga gagang pintu diletakkan dipinggir yang berseberangan dengan engselnya, mengapa disainnya tidak diletakkan ditengah daun pintu?



Gambar 1. Palu dan pintu

Sumber <https://www.google.com/search?biw=1920&bih=974&tbm=isch&sa=1&ei=XFQAW7PxGc-NkgWYxoTYDw&q=palu+martil>

Sekarang coba Anda lakukan! Ambil dua palu yang bergagang panjang dan pendek. Kemudian gunakan palu tersebut untuk menancapkan paku di tembok/kayu. palu manakah yang paling mudah digunakan? Pasti Anda menjawab Palu yang bergagang Panjang. Lalu mendekatlah ke sebuah pintu. Cobalah membuka pintu tersebut dari pinggir daun pintu dan dari tengah-tengahnya. Cara manakah yang paling mudah untuk membuka pintu tersebut? Tentu Anda akan berkata membukanya dari pinggir daun pintunya. Inilah alasannya Palu diberi gagang yang cukup Panjang dan gagang pintu diletakkan dipinggir yang berseberangan dengan engselnya, yaitu untuk memberikan kemudahan bagi orang yang menggunakannya.

Uraian berikut ini akan memberikan penjelasan kepada Anda mengenai gagang yang relatif panjang pada palu, posisi gagang pintu yang berada dipinggir berseberangan dengan engselnya, dan beberapa contoh lain yang juga sering dijumpai atau bahkan Anda melakukannya sendiri. Teruslah belajar dengan semangat. Man jadda wajada.

1. Torsi (τ)

Torsi disebut juga sebagai momen gaya atau momen putar. Torsi adalah gaya yang bekerja pada jarak tertentu dari pusat putar (rotasi). Ketika membuka pintu, Anda akan memberikan gaya berupa tarikan atau dorongan pada daun pintu. Gaya dorong atau tarik diberikan di gagang pintu yang terletak pada jarak d dari engsel sebagai pusat rotasinya, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.

Mari mempelajari torsi dari contoh orang yang membuka baut dengan kunci “pas”, diperlihatkan pada gambar 3. Pada gambar orang yang sedang membuka ban mobil tersebut tampak bahwa gaya F tegak lurus terhadap d



Gambar 2. Torsi ditimbulkan membuka pintu dengan mudah

($F \perp d$). Ini menjadi syarat penting yang Anda harus ketahui yaitu bahwa gaya (F) dan jarak (d) harus saling tegak lurus untuk menghasilkan torsi (τ)

Besar hasil kali gaya (F) dan jarak (d) di mana $F \perp d$ disebut torsi (τ).

Secara matematika ditulis:

$$\tau = F \times d \text{ (} F \perp d \text{)}$$

di mana d adalah lengan gaya dengan satuan meter (m)

F adalah gaya tarik/dorong dengan satuan Newton (N)

τ adalah torsi atau momen putar (N.m)

Satuan torsi (τ) adalah Newton meter (N.m).

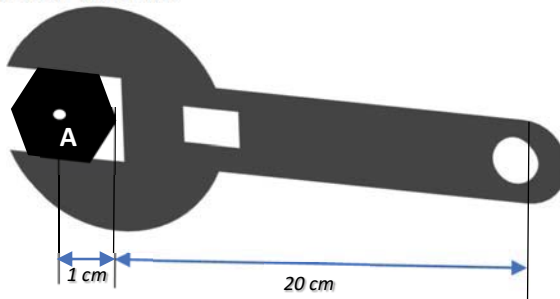
Jika Anda melihat sebuah benda berputar terhadap sebuah titik yang tetap maka penyebabnya ialah torsi. Jadi, apakah rahasianya sebuah benda sehingga berputar? Rahasinya ialah benda tersebut mempunyai titik putar dan pada benda tersebut bekerja sebuah torsi atau momen putar.



Gambar 3. Torsi ditimbulkan untuk membuka baut dengan mudah

Contoh 1: menghitung besar torsi (τ)

1. Anda hendak membuka sebuah mur (baut) dengan kunci pas seperti ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 4. Membuka baut dengan kunci pas.

Berapakah besar torsi (τ), yang dihasilkan jika gaya 100 N dikerjakan pada ujung kunci pas dengan posisi membentuk sudut 30° , 45° , 60° , 90° dan 0° terhadap d ?

Pembahasan:

Diketahui: diameter baut = 1 cm = 0,01 m
 panjang kunci pas = 20 cm = 0,20 m
 gaya diberikan, F = 100 N
 A adalah sumbu putar

Dapatkan nilai torsi, τ , jika:

- posisi F 30° terhadap d ,
- posisi F 45° terhadap d ,
- posisi F 60° terhadap d ,
- posisi F 90° terhadap d ,
- posisi F 0° terhadap d ,

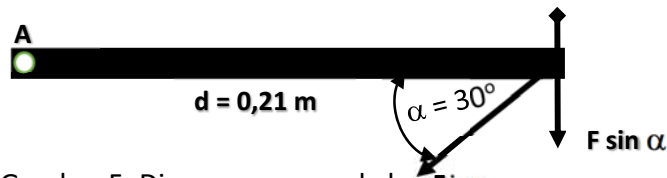
Penyelesaian:

Ingat !

Torsi (τ) dihasilkan oleh gaya F yang saling tegak lurus dengan lengan momen d

Dari gambar diperoleh posisi F terhadap sumbu putar $A = d = 0,01 + 0,20 = 0,21$ m

- untuk posisi F terhadap d , $\alpha = 30^\circ$



Gambar 5. Diagram gaya pada kunci pas

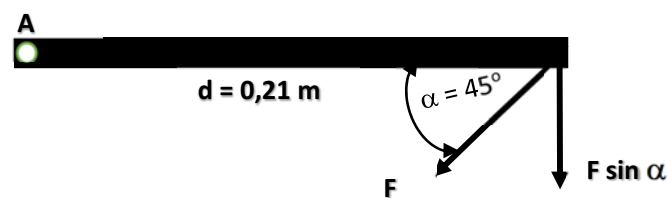
Dari gambar gaya yang menimbulkan torsi τ adalah $F \sin \alpha$ yaitu komponen gaya F yang tegak lurus terhadap d . Maka persamaan torsi adalah

$$\tau = F \cdot \sin \alpha \times d \quad \sin \alpha = \sin 30^\circ = 0,5$$

$$\tau = (100 \times 0,5) \times 0,21 = 10,5 \text{ N.m}$$

Jika dikerjakan pada kunci membentuk sudut 30° terhadap d dihasilkan torsi = 10,5 N

- untuk posisi F terhadap d , $\alpha = 45^\circ$



Gambar 6. Diagram gaya pada kunci pas untuk sudut 45°

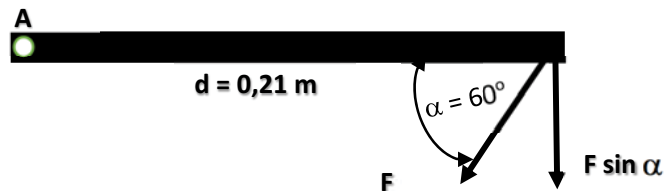
Dari gambar gaya yang menimbulkan torsi τ adalah $F \sin \alpha$ yaitu komponen gaya F yang tegak lurus terhadap d . Maka persamaan torsi adalah

$$\tau = F \cdot \sin \alpha \times d \quad \sin \alpha = \sin 45^\circ = 0,707$$

$$\tau = (100 \times 0,707) \times 0,21 = 14,85 \text{ N.m}$$

Jika dikerjakan pada kunci membentuk sudut 30° terhadap d dihasilkan torsi = 14,85 N.m

- c. untuk posisi F terhadap d, $\alpha = 60^\circ$



Gambar 7. Diagram gaya pada kunci pas untuk sudut 60°

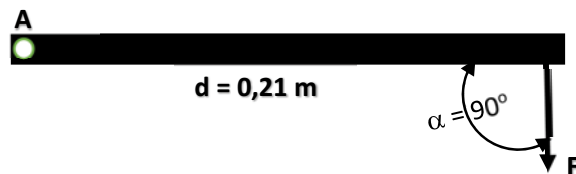
Dari gambar gaya yang menimbulkan torsi τ adalah $F \sin \alpha$ yaitu komponen gaya F yang tegak lurus terhadap d. Maka persamaan torsi adalah

$$\tau = F \cdot \sin \alpha \times d \quad \sin \alpha = \sin 60^\circ = 0,87$$

$$\tau = (100 \times 0,87) \times 0,21 = 18,27 \text{ N.m}$$

Jika F dikerjakan pada kunci membentuk sudut 30° terhadap d dihasilkan torsi = 18,27 N.m

- d. untuk posisi F terhadap d, $\alpha = 90^\circ$



Gambar 6. Diagram gaya pada kunci pas untuk sudut 90°

Dari gambar gaya yang menimbulkan torsi τ adalah $F \sin \alpha$ yaitu komponen gaya F yang tegak lurus terhadap d. Maka persamaan torsi adalah

$$\tau = F \cdot \sin \alpha \times d \quad \sin \alpha = \sin 90^\circ = 1,00$$

$$\tau = (100 \times 1,00) \times 0,21 = 21,00 \text{ N.m}$$

Jika F dikerjakan pada kunci membentuk sudut 90° terhadap d dihasilkan torsi = 21,00 N.m

- e. untuk posisi F terhadap d, $\alpha = 0^\circ$



Gambar 8. Diagram gaya pada kunci pas untuk sudut 0°

Dari gambar gaya F bekerja segaris dengan d sehingga sudut yang dibentuk adalah 0° (180°)

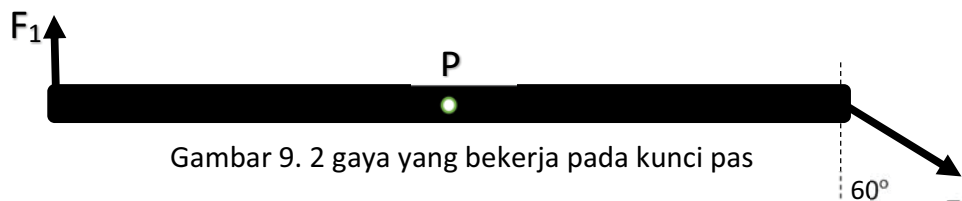
$$\tau = F \cdot \sin \alpha \times d \quad \sin \alpha = \sin 180^\circ = 0,0$$

$$\tau = (100 \times 0,00) \times 0,21 = 0,00 \text{ N.m}$$

Jika F dikerjakan pada kunci segaris dengan d , maka tidak ada torsi yang dihasilkan.

Contoh 2: menghitung torsi (τ) yang dikerjakan dua gaya atau lebih

Sebuah batang homogen (batang yang tidak memiliki lubang) dikerjakan 2 buah gaya yang berjarak tertentu terhadap sebuah titik P yang dipilih sebagai sumbu putar. Seperti gambar berikut.

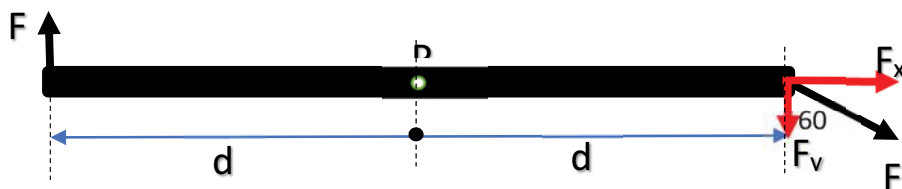


Gambar 9. 2 gaya yang bekerja pada kunci pas

Panjang batang $L = 2 \text{ m}$, besar gaya $F_1 = 15 \text{ N}$, $F_2 = 30 \text{ N}$ dan berjarak sama terhadap titik P . Jika titik P diletakkan pada tumpuan yang tetap, kemudian F_1 dan F_2 dikerjakan secara bersamaan apakah yang akan terjadi pada batang tersebut?

Pembahasan:

Pertama kita periksa gaya-gaya yang bekerja pada batang.



Gambar 10. Diagram 2 gaya yang bekerja pada kunci

Gaya F_1 membentuk sudut 90° terhadap d_1 akan menghasilkan torsi

$$\tau_1 = F_1 \cdot \sin \alpha \times d_1 = 15 \times 1,00 \times 1 = 15 \text{ N.m}$$

Gaya F_2 membentuk sudut 60° terhadap d_2 akan menghasilkan torsi

$$\tau_2 = F_2 \cdot \cos \alpha \times d_2 = 30 \times 0,50 \times 1 = 15 \text{ N.m}$$

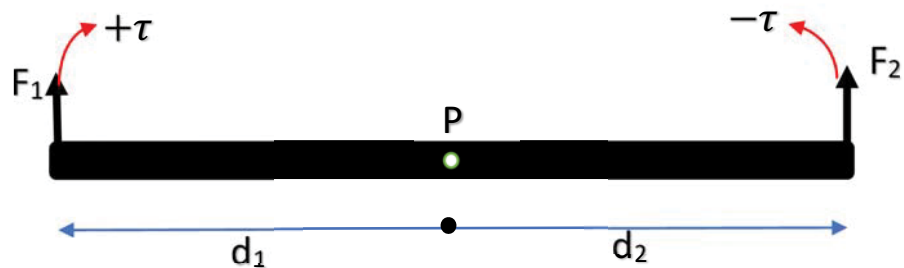
Torsi total yang bekerja pada batang adalah jumlah torsi yang dihasilkan oleh masing-masing gaya.

$$\tau_{total} = \tau_1 + \tau_2 = 15 + 15 = 30 \text{ N.m}$$

Dari hasil perhitungan ini diperoleh torsi total sebesar 30 N.m yang dampaknya ialah batang akan berputar searah jarum jam terhadap sumbu putar P.

Berdasar pada kenyataan ini kita tetapkan sebuah aturan untuk torsi yang akan digunakan dalam perhitungan:

1. Jika gaya F tegak lurus pada d dapat menyebabkan benda berputar searah jarum jam maka torsi yang dihasilkan bernilai positif (+)
2. Jika gaya F tegak lurus pada d dapat menyebabkan benda berputar berlawanan arah jarum jam, maka torsi yang dihasilkan bernilai negatif (-)



Gambar 11. Diagram 2 gaya yang bekerja pada kunci

2. Momen Kopel (M)

Tentu Anda cukup sering membuka tutup botol air mineral untuk dapat meminum airnya. Atau mungkin saja Anda melihat tukang tambal ban membuka baut ban mobil menggunakan kunci



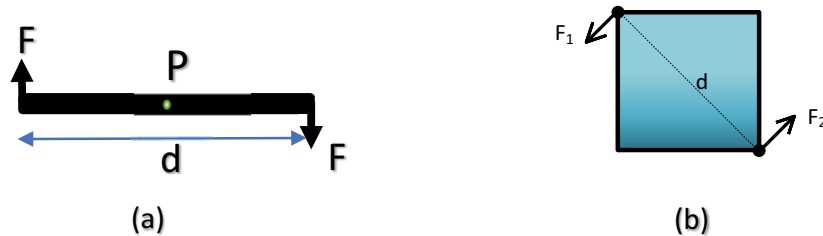
T seperti gambar 12. Ketika membuka tutup botol air mineral tersebut Anda menggunakan ibu jari dan jari telunjuk kemudian memutarnya ke arah berlawanan jarum jam. Juga ketika baut ban mobil dibuka dengan kunci T montir menggunakan kedua tangannya lalu memutarnya berlawanan arah putaran jarum jam, seperti tampak pada gambar 12. Peristiwa membuka tutup botol air mineral dan membuka baut ban mobil dengan kunci T digunakan dua buah gaya yang saling berpasangan.

Gambar 12. Diagram 2 gaya yang bekerja permukaan tutup botol dan pada pada kunci T.

(a) Gambar dibuat sendiri oleh Sans

(b) <https://img.okezone.com/content/2016/09/08/15/1485139/sulit-buka-baut-pelek-mobil-perhatikan-lima-langkah-ini-hiuFzYgn2w.jpg>

Persistiwa sehari-hari seperti tampak pada gambar 12 sebenarnya merupakan penerapan dari konsep fisika tentang momen kopel. Momen kopel adalah sepasang gaya yang besarnya sama, arahnya berlawanan, kedudukannya sejajar, dan terpisah pada jarak d . Ketika bekerja pada sebuah benda, pasangan gaya ini akan menyebabkan benda berputar pada sumbu putarnya. Pada gambar berikut ditunjukkan pasangan gaya-gaya yang menghasilkan momen kopel.



Gambar 13. Pasangan gaya yang menghasilkan momen kopel

Besarnya momen kopel (M) didefinisikan sebagai hasil kali gaya F dengan jarak d kedua pasang gaya.

Secara matematika ditulis:

$$M = F \times d$$

di mana F adalah besar pasangan gaya (N)

d adalah jarak kedua gaya (m)

M adalah besarnya momen kopel

Satuan momen kopel M adalah Newton.meter (N.m)

Ada dua jenis momen kopel yaitu

a. Momen kopel positif

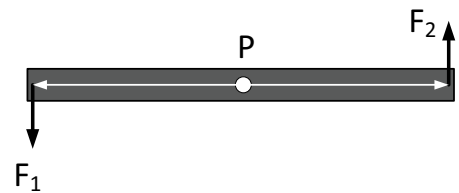
Besar momen kopel bernilai positif apabila pasangan gaya menyebabkan benda berputar searah putaran jarum jam. Seperti terlihat pada gambar 12.a

b. Momen kopel negatif

Besar momen kopel bernilai negatif apabila pasangan gaya menyebabkan benda berputar berlawanan arah putaran jarum jam. Seperti terlihat pada gambar 12.b

Contoh soal 3

Pada batang homogen AC yang beratnya 20 kg, panjang 5 m dikenai gaya F_1 dan F_2 seperti gambar 14. Jika momen gaya yang dialami oleh batang tersebut 120 Nm, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m.s}^{-1}$ dan batang berputar berlawanan arah jarum jam pada sumbu putarnya:



Gambar 14. Pasangan gaya yang menghasilkan momen kopel

- Berapakah besar F_1 ? Jelaskan juga mengapa torsi yang ditimbulkan oleh berat batang (W) dalam perhitungan ini bernilai nol?
- Jika pusat rotasi digeser ke titik 3 m dari F_1 berapakah besar torsi dan arah batang berputar?

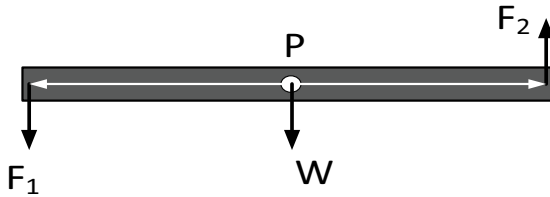
Pembahasan:

Diketahui $M = 120 \text{ N.m}$

$$W = m \cdot g = 20 \times 10 = 200 \text{ N}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

a. Kita gambar dahulu gaya-gaya yang bekerja pada batang



Gambar 15. Diagram gaya-gaya yang bekerja pada batang

Gambar 15 menunjukkan bahwa gaya berat batang yang besarnya 200 N bekerja pada pusat rotasinya. Sesuai konsep bahwa gaya-gaya yang bekerja melalui pusat rotasi menghasilkan torsi nol, maka berat w tidak menghasilkan torsi pada batang ($\tau_w = 0 \text{ N.m}$)

Dampaknya ialah gaya F_1 dan F_2 merupakan kopel gaya. Sesuai konsep momen kopel:

$$M = F \times d \leftrightarrow -120 = F \times 5 \leftrightarrow F = \frac{-120 \text{ N.m}}{5 \text{ m}} = -24 \text{ N}$$

Tanda (-) karena posisi gaya menyebabkan batang berputar berlawanan arah putaran jarum jam.

b. Jika sumbu putar dipindahkan ke posisi 2 m dari F_1 maka susunan gaya-gaya sebagai berikut:

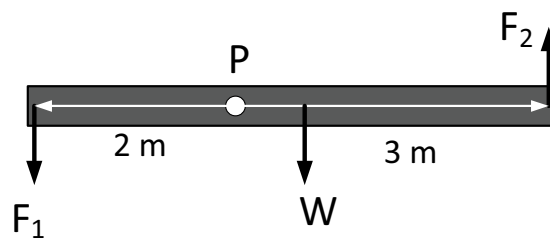
Walaupun F_1 dan F_2 yang besarnya masing-masing 24 N masih merupakan kopel gaya namun penyelesaian tidak dapat lagi menggunakan konsep momen kopel karena adanya pengaruh gaya berat bayang W .

Untuk mengetahui arah putaran batang setelah sumbu putar

dipindahkan ke $d = 2 \text{ m}$ dari F_1 kita jumlahkan semua torsi yang bekerja pada batang dengan konsep torsi total

$$\tau_{total} = (F_1 \cdot d_1) + (F_2 \cdot d_2) + (W_b \cdot d_b)$$

$$\tau_{total} = (-24 \times 2) + (3 \times 24) + (2,5 \times 200) = 524 \text{ N.m}$$



Gambar 16. Diagram gaya-gaya yang bekerja pada batang

Momen total sebesar 524 N.m akan menyebabkan batang berputar searah puaran jarum jam.

3. Momen Inersia (I)

Masih ingatkah Anda pelajaran tentang hukum I Newton?



Gambar 17. Mendorong mobil kecil (a) dan mobil besar (b) memerlukan tenaga yang sangat berbeda karena sifat inersia masing-masing benda.

(a) <http://tribratanewskarawang.com/polisi-sat-lalu-lintas-bantu-dorong-mobil-mogok/>

(b) <https://cimahi.jabar.polri.go.id/tribratanews/news/truk-mogok-di-tagog-padalarang>

Bagus! Anda mengingatnya lagi, bahwa Hukum I Newton menjelaskan tentang kelembaman atau Inersia sebuah benda.

Inersia merupakan sifat dasar benda untuk mempertahankan keadaannya tetap diam jika semula berada dalam keadaan diam atau bergerak lurus jika keadaannya sedang bergerak lurus. Karena itu benda yang besar, padat dan berat akan sulit bergerak karena mempunyai inersia yang besar untuk mempertahankan keadaannya yang diam seperti ditunjukkan oleh gambar 17. Bayangkanlah dua benda besar dan kecil yang sedang bergerak lurus, manakah dari kedua benda ini yang sulit diberhentikan? Bagus, tepat sekali jawaban Anda. Tentu saja benda yang lebih besar akan lebih sulit dihentikan karena mempunyai inersia yang besar untuk mempertahankan keadaannya tetap bergerak.

Bagaimana dengan benda yang bergerak berotasi? Tentu memiliki sifat inersia atau sifat kelembaman juga. Pada benda yang bergerak rotasi akan memiliki inersia yang dinamakan momen inersia.

Momen inersia merupakan ukuran kelembaman sebuah benda untuk melakukan rotasi pada porosnya dan mempertahankannya selama mungkin.

Cobalah untuk mengingat salah satu permainan tradisional Indonesia yaitu permainan gasing seperti tampak pada gambar 18. Bila dua buah gasing berukuran besar dan berukuran kecil diputar dengan gaya yang sama besar secara bersamaan, gasing manakah yang akan berputar lebih lama, atau gasing manakah yang akan berhenti lebih dahulu?



Gambar 18. Gasing manakah yang akan berputar lebih lama?

Sejumlah warga mencoba permainan gasing yang diadakan oleh Kampoeng Dolanan Nusantara saat Car Free Day di Jakarta, Ahad (22/2). (Republika/Agung Supriyanto)

Setidaknya akan ada yang menjawab gasing lebih besar akan berhenti lebih dahulu. Tetapi ada juga yang akan mengatakan bahwa gasing lebih kecil akan berhenti lebih dahulu. Untuk mengetahui jawaban yang benar lakukan percobaan berikut.

Ambil 1 butir telur bebek besar, 1 butir telur ayam kampung ukuran kecil, dan 1 butir telur burung puyuh. Ketiga telur dimasak hingga matang sempurna. Kemudian salah seorang memutar telur secara bergiliran dan ukur lamanya masing-masing telur berputar.

Telur manakah yang berhenti lebih dahulu dan berhenti paling akhir? Apakah sebabnya? Mengapa Anda harus merebus telur-telur tersebut sebelum memutarnya? Diskusikan dalam kelompok Anda.



Gambar 19. Telur ayam, bebek. Ayam kampung dan puyuh.

Sumber : <https://gendies.com/telur-puyuh-ayam-atau-bebek-asin/>

Berikut penjelasan mengenai pengertian momen inersia.

Momen Inersia merupakan hasil kali massa partikel dari sebuah benda dengan kuadrat jarak partikel dari sumbu putarnya.

Momen Inersia diberi simbol "I".

Secara matematika ditulis:

$$I = m \cdot r^2$$

di mana m adalah massa partikel sebuah benda (kg)
 r adalah jarak partikel ke sumbu putarnya (m)
 I adalah momen inersia partikel

Momen Inersia diberi satuan $\text{kg} \cdot \text{m}^2$.

Sifat utama dari momen inersia ialah massa benda (m) dan bagaimana partikelnya terdistribusi terhadap sumbu putarnya. Faktor berikut ini mempengaruhi besar momen inersia suatu benda yaitu:

- massa benda (m),
- jarak partikel benda ke sumbu putarnya (r) dan
- letak sumbu rotasinya.

Momen inersia merupakan besaran skalar sehingga arah benda berputar tidak mempengaruhi nilainya. Massa m , dari sebuah gasing merupakan jumlah massa partikel-partikelnya (Δm). Ketika gasing berputar semua partikel massa ini ikut berputar terhadap sumbu putarnya. Misalkan diambil sebuah partikel massa (Δm) yang berada pada jarak r dari sumbu putarnya, akan menyumbangkan momen inersia sebesar

$$I = \Delta m \cdot r^2$$

Maka untuk gasing yang memiliki sejumlah partikel akan memiliki massa:

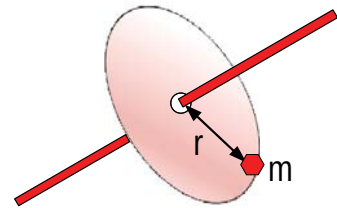
$$m_{\text{gasing}} = \sum (\Delta m \cdot r^2)$$

Dengan menganggap gasing secara utuh merupakan sebuah partikel maka ketika berputar akan memiliki momen inersia

$$I_{\text{gasing}} = m \cdot r^2$$

Dalam hal ini dianggap bahwa massa total gasing terkumpul pada jarak r dari sumbu rotasinya.

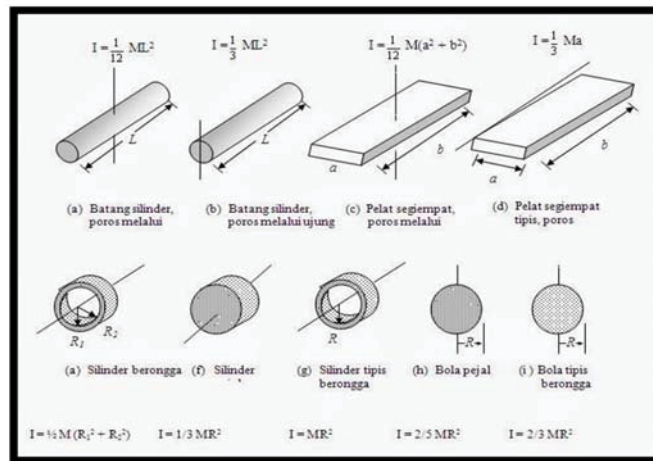
Momen inersia sangat dipengaruhi oleh massa benda dan bagaimana massa benda tersebut terdistribusi. Hal ini menyebabkan masing-masing benda memiliki karakteristik momen inersianya. Tabel berikut menunjukkan momen Inersia berbagai bentuk benda:



Gambar 20. Momen inersia benda berotasi dipengaruhi oleh massa, jarak ke sumbu rotasi dan sumbu rotasinya.



Gambar 21. Ilustrasi momen inersia pada elemen massa (Δm) gasing yang berputar pada sumbu rotasinya.

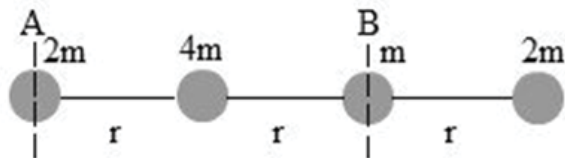


Gambar 22 . Momen Inersia berbagai benda tegar

Contoh soal : Penggunaan konsep momen inersia partikel

Misalkan Anda memiliki 4 buah bola pejal lalu disusun seperti gambar 22 membentuk suatu

sistem partikel. Masing-masing bola dihubungkan dengan batang ringan yang massanya dapat diabaikan.maksimal



Gambar 22. Susunan 4 bola pejal yang massanya berbeda

Tentukan momen inersia sistem partike jika :

- Diputar terhadap sumbu rotasi A
- Diputar terhadap sumbu rotasi B
- di manakah sumbu rotasi diletakan agar menghasilkan momen Inersia maksima?

Pembahasan:

Konsep: Untuk beberapa massa benda yang terhubung satu sama lainnya maka momen inersia total merupakan jumlah momen inersia masing-masing benda.

- Diputar terhadap poros A
 $I = \sum m \cdot r^2$
 $I = 2m(0)^2 + 4m(r)^2 + m(2r)^2 + 2m(3r)^2$
 $I = 0 + 4m r^2 + 18m r^2$
 $I = 26 m r^2$
- Diputar terhadap poros B
 $I = \sum m \cdot r^2$
 $I = 2m(2r)^2 + 4m(r)^2 + m(0)^2 + 2m(r)^2$
 $I = 8m r^2 + 4m r^2 + 0 + 2m r^2$
 $I = 14 m r^2$

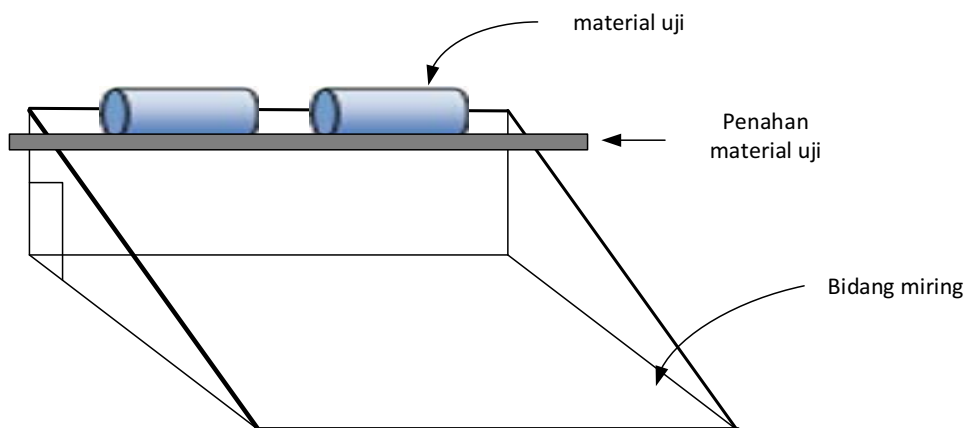
- c. Untuk menghasilkan momen inersia maksimal maka massa m dan jarak r harus yang sebesar-besarnya. Dalam contoh ini momen Inersia maksimal diperoleh ketika sumbu putar diletakkan di $m = 2$ kg, di kiri atau di kanan seperti pada gambar.

Penugasan 1

7 kasus Penguatan Konsep!

Diskusikan dengan teman di dalam kelompok Anda:

1. Faktor apakah yang menentukan besar torsi (τ) yang dihasilkan oleh gaya F ?
2. Apakah dampak yang ditimbulkan oleh torsi (τ) pada baut?
3. Adakah cara lain untuk menghasilkan torsi (τ) yang maksimum?
4. Apakah kemungkinan yang bisa terjadi jika gaya diberikan segaris dengan lengan momen d ?
5. Jika Anda hendak membuka baut pada ban sebuah truk, apakah yang dapat dilakukan untuk memudahkan membuka baut tersebut? (lakukan pengamatan ditukang tambal ban mobil-mobil besar)
6. Buatlah ulasan singkat tentang peristiwa atau alat-alat yang bekerja berdasarkan konsep momen kopel yang umum dijumpai di kehidupan sehari-hari.
7. Untuk memahami Momen Inersia lebih lengkap, lakukan kegiatan berikut ini bersama teman-teman kelompokmu:
 - a. Sediakan sebuah bidang miring yang cukup rata dan halus permukaannya
 - b. Buatlah potongan logam atau kayu berbentuk silinder yang permukaannya cukup licin dengan ukuran diameter sama (hampir sama) masing-masing 2 buah yang berbeda panjangnya.
 - c. Buatlah potongan pipa silinder berongga (bisa juga menggunakan bambu) dengan ukuran diameter berbeda-beda dan ukuran panjang berbeda juga.



Gambar 23. Alat uji momen inersia benda

- d. Sediakan sebuah batang untuk menahan pipa atau balok silinder pada bidang miring
- e. Gelindingkan secara bersamaan dua silinder yang berbeda-beda ukurannya.

- f. Amati kecepatan kedua silinder ketika meluncur pada bidang miring.
- g. Ulangi kegiatan (f) dengan pasangan silinder yang berbeda dan amati kembali gerakan silinder ketika meluncur turun. Jangan lalai untuk membuat catatan pengamatan Anda.
- h. Diskusikan hasil pengamatan Anda dan buat kesimpulannya tentang momen inersia dari benda-benda silinder tersebut.
- i. Anda dapat menggunakan tabel berikut untuk melakukan uji material.

Tabel 2: Hasil Pengamatan kecepatan luncur material uji pada bidang miring

Pengujian ke...	Jenis Silinder		Diameter Material	Panjang Material	Laju Material
	M ₁	M ₂			
1	Kayu	Logam	$d_1 = d_2$	$l_1 = l_2$	$v_1 > v_2$
2					
3					
4					
...					

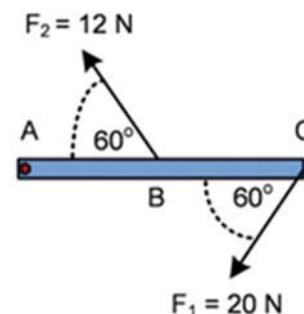
.....
Kelompok

No.	Nama	NIS	Tanda Tangan
1.			
2.			
3.			
4.			

Latihan Modul 1

Untuk menguatkan pemahaman Anda tentang konsep pada pelajaran Unit 1 ini, kerjakan latihan berikut ini dengan cermat dan teliti. Hasil pekerjaan Anda ditulis tangan dan dilaporkan kepada Tutor.

1. Batang AC homogen panjangnya 2 m, beratnya $10\sqrt{3}$ N diberi gaya seperti gambar berikut. Titik B terletak ditengah-tengah AC.
 - a. Berapakah torsi yang diberikan F_1 ?
 - b. Berapakah Torsi yang diberikan F_2 ?
 - c. Berapakah torsi yang diberikan berat batang W?
 - d. resultan torsi di titik A?
 - e. Ke arah manakah batang AC berputar?

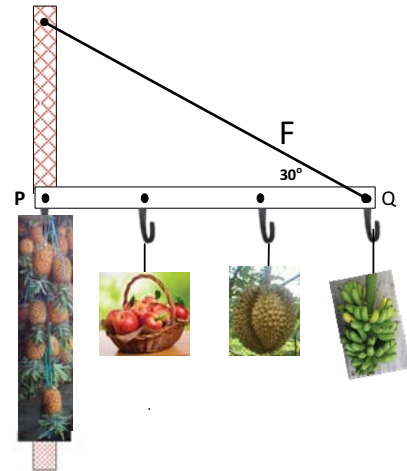


(Jawab: $\tau_1 = 20\sqrt{3} \text{ N.m}$; $\tau_2 = -6\sqrt{3} \text{ N.m}$; $\tau_w = 10\sqrt{3} \text{ N.m}$, $\tau_{total} = 24\sqrt{3} \text{ N.m}$, batang berputar searah putaran jarum jam)

2. Sebuah batang PQ homogen panjangnya 0,75 m dan massanya 3,2 kg digunakan untuk menggantung buah-buahan. Ujung P dikaitkan dengan paku pada kayu vertikal, dan ujung Q diikatkan dengan tali seperti gambar berikut.

Jika setiap pengait dipasang dengan jarak 25 cm satu sama lainnya dan massa beban yang digantung dari kiri ke kanan berturut-turut 20 kg, 16 kg, 10 kg dan 10 kg, berapakah kekuatan tali minimal agar tidak putus?

(Jawab = $F = 354 \text{ N}$)



3. Pak Amir pemilik mobil hendak membuka baut pada ban mobilnya yang sulit dibuka dengan kunci L, dan dia tidak mampu melakukannya dengan tangannya. Dia mencoba menggunakan berat badannya untuk membuka tetapi tidak berhasil.



- Apakah saran Anda untuk membuka baut tersebut?
- Jika massa pak Amir 50 kg, dan diperlukan torsi 500 N.m untuk membuka ban mobilnya, berapakah panjang minimal kunci L yang harus dia gunakan?

Sumber:

4.



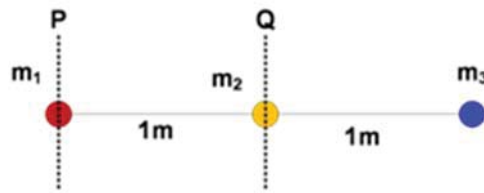
<https://www.jasaservice murah.com/tag/biro-jasa-sumur-bor-palangkaraya/>

Pak Marno hendak membuat sumur bor di halaman rumahnya seperti gambar berikut. Jika pak Marno mampu memberikan gaya 80 N untuk memutar mata bornya.

- Berapakah momen kopel yang dihasilkan pak Marno?
- Pada kedalaman 10 m ternyata gaya 80 N yang diberikan pak Marno tidak mampu memutar mata bornya. Jika diperlukan momen kopel 80 N.m. Apakah yang dapat dilakukan pak Marno untuk memutar mata bornya?

Jawab: (40 N.m, 100 cm)

5. Tiga bola di susun seperti gambar berikut.



Jika $m_1 = 1 \text{ kg}$, $m_2 = 2 \text{ kg}$ dan $m_3 = 3 \text{ kg}$, berapakah momen inersia sistem tersebut jika diputar menurut :

- a) poros P
- b) poros Q

Jawab: (14 kg.m^2 , 4 kg.m^2)

Sebelum Anda melanjutkan mempelajari Unit 2 berikut, periksa kembali apakah Anda sudah memahami benar modul Unit 6.1 ini Apakah Anda selesai mengerjakan semua tugas yang disiapkan untuk menambah dan menguatkan pemahaman Anda.

Bila ada hal-hal yang belum dipahami benar dan memerlukan penjelasan lebih lanjut, silahkan Anda bertanya kepada tutor atau seorang guru fisika yang ada di tempat Anda.

Anda harus memahami dengan benar bahan pelajaran pada modul unit 6.1 ini, sebab konsep yang akan dipelajari di modul Unit 6.2 sangat bergantung pada pemahaman Anda secara benar konsep-konsep fisika di Unit 6.1. ini.

Selamat melanjutkan ke Unit 6.2!

Unit 6.2

Rahasia Roda Yang Berputar

Salam Majawa. Semoga Anda sehat dan siap untuk belajar lagi. Amin!

Selamat datang di unit 6.2 dari modul Misteri Batu Bertumpuk ini. Tentunya Anda penasaran ingin segera mengetahui Rahasia dibalik batu bertumpuk bukan? Rasa penasaran Anda akan segera terjawab, tetapi Anda harus ikuti tahapannya. Di unit 6.1 Anda telah mempelajari bahwa sebuah benda berputar karena pengaruh torsi. Selain itu Anda juga sudah mengetahui bagaimana cara membuat benda agar berputar pada porosnya, yaitu dengan membuat jumlah momen gaya terhadap porosnya bernilai nol.

Pada unit 6.2 ini Anda akan mempelajari “Rahasia Roda Yang Berputar”. Yaitu tentang mengapa sebuah roda dapat berputar dengan stabil? Tentang apa yang mempengaruhi sebuah roda dapat berputar sehingga memberikan manfaat bagi kehidupan umat manusia? Seperti berputarnya roda sepeda, roda sepeda motor saat Anda mengendarainya dengan stabil di atas aspal. Anda akan mudah dan cepat menguasai materi di unit-2 ini dengan menggunakan konsep yang sudah dipelajari di unit-1.

Anda siap! Mari kita mulai. Ingat, siapa yang bersungguh-sungguh belajar pasti berhasil. Man Jadda Wajada!

1. Besaran-Besaran Fisika pada Dinamika Rotasi

Mari memperhatikan dengan cermat gambar berikut!



Gambar 29. Gasing Tradisional merupakan salah satu permainan yang menggunakan prinsip fisika
Sumber : <http://metroballi.com/wisman-antusias-saksikan-permainan-gasing-tradisional/>



Gambar 30. Mengendarai Sepedamotor
<http://kupang.tribunnews.com/2018/03/06/mengendarai-sepeda-motor-siang-siang-ini-bahaya-yang-mengintaimu>

Apakah perbedaan gasing yang berputar dengan roda sepeda motor ketika berputar? Perhatikan sekali lagi, apakah sekarang Anda menemukan perbedaannya?

Bagus Anda sangat cermat! Bedanya ialah pada sumbu putarnya.

Gasing berputar pada sumbu rotasi yang bebas sehingga kedudukan sumbunya dapat berubah-ubah, kadang-kadang tegak lurus di waktu lainnya miring.

Roda sepeda motor juga berputar tetapi sumbu putarnya tetap, walaupun melewati tikungan atau menaiki tanjakan sumbu putarnya tetap. Inilah yang menjadi pokok bahasan dan batasan pembahasan kita tentang dinamika rotasi. Kedudukan sumbu sebuah benda berputar sangat menentukan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Juga menentukan kemudahan untuk mempelajarinya jika sumbu putarnya tetap.

Dinamika rotasi mempelajari benda-benda yang berputar pada sumbu putar yang tetap.

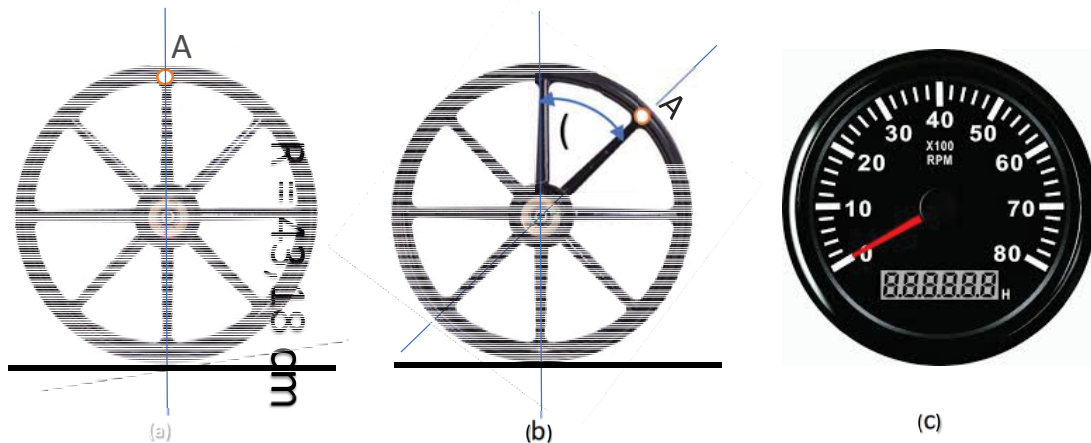
Pembahasan tentang benda berputar berikut ini kita batasi hanya yang berputar pada sumbu tetap, untuk memudahkan Anda memahaminya. Pembahasan tentang benda yang berputar pada sumbu putar yang tidak tetap akan Anda pelajari ketika melanjutkan ke perguruan tinggi. Selain itu benda yang berputar pada sumbu tetap lebih nyata dan mudah ditemukan contohnya di kehidupan sehari-hari. Mari kita mulai dengan mengenal besaran-besaran fisika pada benda berputar pada sumbu yang tetap.

Besaran-besaran fisika apakah yang dimiliki oleh sebuah benda yang berputar pada sumbu tetap?



Gambar 31. Valentino Rossi saat berlomba di motogp tahun 2018 menggunakan velg belakang dan depan berukuran 17 inch (43,18 cm)
<http://www.motogp.com/en/news/2016/08/05/mid-season-review-valentino-rossi/205121>

Ketika sepeda motor dijalankan di atas permukaan jalan beraspal roda depan dan roda belakang berputar pada sumbu putar yang tetap. Tetapkan sebuah titik pada velg yang akan kita tinjau gerakannya saat velg berputar. Diperlihatkan pada gambar 2.4 berikut



Gambar 32 Sebuah titik A pada velg motor sebagai titik tinjauan

- Posisi diam,
- salah satu posisi titik A setelah ban berputar,
- takometer dikenal sebagai alat pengukur putaran mesin tiap menit dinyatakan dalam satuan rpm (rotasi per menit)

Sumber (c) : <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/52mm-marine-anti-uv-rustproof-tachometer-rpm-gauge-60003914614.html>

Besaran fisika yang kita temukan ketika ban motor berputar pada sumbunya:

- Jari-jari (R)** yaitu posisi titik A terhadap sumbu putar (as roda). Selama ban berputar posisi titik A tidak berubah atau tetap 43,18 cm
- Jarak tempuh** titik A untuk satu kali berputar adalah $S = 2\pi R = 2\pi (43,18 \text{ cm})$ disebut juga satu putaran penuh. Jarak tempu dinyatakan dalam satuan meter (m)
- Frekuensi (f)** yaitu banyaknya titik A melalui posisi semula dalam 1 detik disebut juga banyaknya putaran penuh. Untuk mengetahui frekuensi (banyaknya putaran penuh) sebuah ban motor ketika berjalan dapat diketahui pada takometer atau rpm (gambar 2.4.c) Misalnya jarum penunjuk berada pada angka 20, berarti semua bahagian yang berputar pada kendaraan tersebut melakukan putaran penuh 2000 putara tiap menit, Maka frekuensi $f = \frac{2000}{60} = 33,33 \text{ putaran per detik}$
Frekuensi dinyatakan dalam satuan putaran per detik atau Hertz (Hz)
- Kecepatan sudut (ω)** yaitu besar sudut yang dibentuk dalam tiap detik. Dinyatakan dalam satuan radian/detik (rad.s^{-1})
- Percepatan sudut (α)** yaitu perubahan kecepatan sudut tiap detik. Dinyatakan dalam satuan rad.n/detik^2 (rad.s^{-2})

- f) **Periode (T)** yaitu waktu yang diperlukan oleh titik A untuk melakukan 1 putaran penuh. Periode dinyatakan dalam satuan detik (s)

2. Hubungan Torsi (τ) dan percepatan sudut (α)

Apakah yang dimaksud “rahasia roda yang berputar”? Gaya apakah yang membuat roda dapat berputar? Mengapa sebuah roda sepeda motor dapat berputar dengan stabil di permukaan aspal? Apakah yang terjadi jika roda tersebut berputar di permukaan yang licin? Di modul unit-1 Anda mempelajari bahwa momen gaya (torsi, τ) mempengaruhi benda agar berputar.



a



b

Gambar 33 Mengendarai sepeda motor di jalan licin (a) dan jalan beraspal (b)

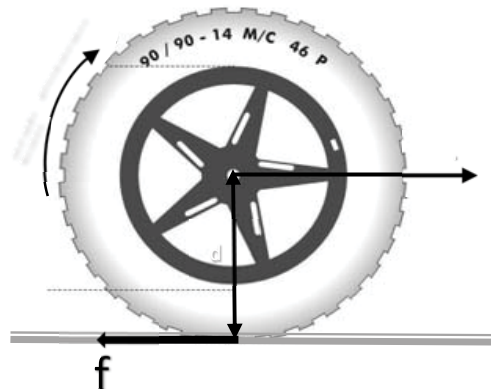
Sumber : (a) <https://ahmadmkom.blogspot.com/2016/01/tips-naik-atau-mengendarai-motor-matik.html>

(b) <https://www.gilamotor.com/2012/10/impresi-berkendara-inazuma-250-si-bongsor-yang-lincah/touring-inazuma-jakarta-bali-4/>

Tentu gambar 34 ini tidak asing buat Anda, namun bagaimana menjelaskannya? Gambar 34.a seorang pengendara motor tegelincir di jalan yang licin karena roda kendaraannya tidak dapat berputar dengan stabil. Pada gambar 34.b roda kendaraan pengendara motor berputar dengan stabil sehingga dapat berkendara dengan baik dan tenang.

Apakah Anda dapat menjelaskan perbedaan di gambar 34.a dan 34.b?

Sekarang Anda gunakan pengetahuan tentang torsi. Torsi menyebabkan benda berputar dengan baik pada porosnya. Berkendara di jalan licin tidak stabil karena hampir tidak ada gaya gesekan yang bekerja pada ban kendaraan tersebut. Berkendara di jalan beraspal menyebabkan roda kendaraan mengalami gesekan yang baik dengan permukaan aspal. Gaya gesekan antara permukaan ban dan jalan akan membangkitkan torsi pada roda kendaraan. Anda akan mempelajarinya lebih jelas di uraian berikut ini. Perhatikan Gambar 35 berikut ini yang memperlihatkan sebuah roda kendaraan di atas permukaan aspal.



Gambar 35 diagram gaya yang bekerja pada ban yang berputar di atas

Anda mengetahui bahwa yang menyebabkan roda dapat berputar dengan stabil di permukaan aspal ialah karena adanya gaya gesekan (f) ban dengan aspal. Gaya gesekan ini menimbulkan torsi sebesar

$$\tau = f \cdot d$$

Besar torsi yang bekerja pada ban kendaraan ini tetap nilainya sebab diameter ban kendaraan dan besar gaya gesekan relatif tetap besarnya.

Bagaimana hubungan torsi ini dengan percepatan sudut ban kendaraan saat berputar?

Menurut hukum Newton benda akan dipercepat dengan percepatan searah dengan gaya. Pada benda yang berputar percepatan ini dinamakan percepatan singgung seperti gaya gesekan f di gambar 34. Berdasarkan hukum Newton hubungan gaya ini adalah

$$f = m \cdot a$$

m adalah massa benda yang berputar, dapat dianggap sebagai bagian kecil dari ban.

Percepatan singgung ini besarnya $a = \alpha \cdot d$, sehingga

$$f = m \cdot (\alpha d)$$

Selanjutnya Anda kalikan ruas kanan dan kiri dengan jarak d

$$d \cdot f = m \cdot (\alpha d) \cdot d$$

$$d \cdot f = m \cdot (\alpha d^2) = (m \cdot d^2) \cdot \alpha$$

Di unit-1 Anda mempelajari bahwa $d \cdot f = \tau$, dan $m \cdot d^2 = I$, maka

$$\tau = I \cdot \alpha$$

Di mana τ menyatakan torsi (momen gaya) satuan N.m,

I menyatakan momen inersia, satuan kg.m²

α menyatakan percepatan sudut, satuan rad.s⁻²

Sekarang Anda menemukan hubungan torsi dan percepatan sudut, yang secara konsep mirip dengan hukum II Newton tentang gerak ($F = m \cdot a$). Di mana momen inersia I mempunyai peran seperti massa benda. Dari hubungan ini Anda mengetahui bahwa

Semakin besar momen Inersia (I) semakin sukar benda berputar. Untuk memutarinya diperlukan tenaga yang lebih besar lagi.

3. Energi Gerak Rotasi

Apakah yang menentukan besarnya energi pada gerak rotasi?

Anda dapat menggunakan konsep energi kinetik yang dipelajari pada modul sebelumnya, yang menyatakan bahwa

$$Ek = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Di mana v^2 adalah kuadrat kecepatan benda yang bergerak lurus. Untuk benda yang bergerak melingkar atau berputar diperoleh hubungan $v = \omega \cdot d$

Maka energi kinetik benda yang bergerak rotasi memiliki persamaan

$$Ek = \frac{1}{2} m \cdot d^2 \cdot \omega^2$$

Karena $I = m \cdot d^2$ maka

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

Pada persamaan ini Ek menyatakan energi kinetik, satuan Joule, I menyatakan momen inersia, satuan kg.m², dan ω adalah kecepatan sudut, satuan rad.s⁻¹

Mari memaknai persamaan energi kinetik rotasi ini

Dari persamaan terlihat bahwa benda yang memiliki momen inersia (I) besar ketika bergerak akan memiliki energi kinetik yang besar pula. Hubungan ini dapat menjelaskan mengapa gasing yang lebih besar akan berputar lebih lama dari gasing berukuran kecil.

Contoh 6.2.1

Sebuah piringan hitam massa 100 gr diputar 33 rpm oleh alat pemutar. Jari-jari piringan hitam 15 cm. Berapakah energi kinetik piringan hitam ini?

Pembahasan

Diketahui:

$$R = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$m = 100 \text{ gr} = 0,1 \text{ kg}$$

$$\omega = 33 \text{ rpm} = (33) \cdot \frac{(2\pi)}{60} = 1,1 \pi \text{ rad/s}$$

Ditanya: $E_{k \text{ rotasi}}$?

Penyelesaian:

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

Momen inersia (I) dari piringan hitam $I = \frac{1}{2} m. R^2$

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

$$Ek = \frac{1}{2} \frac{1}{2} m. R^2. \omega^2 = \frac{1}{4} (0,1) * (0,15) * (1,1. \pi)^2 = 6,7 \times 10^{-3} \text{ Joule}$$

Energi yang sangat kecil ini setara dengan energi untuk memindahkan benda bermassa 0.68 kg sampai ketinggian 1 m.

4. Momentum Sudut (L)

Momentum sudut benda yang berotasi merupakan hasil perkalian antara momen Inersia (I) dan kecepatan sudut (ω).

$$L = I. \omega$$

di mana I menyatakan momen Inersia, satuan kg.m^2 , ω menyatakan kecepatan sudut rad.s^{-1} dan L menyatakan momentum sudut, satuan $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}$.

Jika tidak ada momen gaya luar yang bekerja pada benda, besarnya momentum sudut (L) tidak berubah terhadap waktu atau momentum sudut benda konstan.

Secara matematika ditulis

$$L = \text{konstan} \text{ atau } I. \omega = \text{konstan}$$
$$I_1. \omega_1 = I_2. \omega_2$$

Di mana I_1 adalah momen inersia awal, satuan kg.m^2
 I_2 adalah momen inersia akhir, satuan kg.m^2
 ω_1 adalah kecepatan sudut awal, satuan rad.s^{-1}
 ω_2 adalah kecepatan sudut akhir, satuan rad.s^{-1}

Persamaan ini dinamakan Hukum Kekekalan Momentum sudut. Dari persamaan ini diketahui bahwa Anda dapat memperbesar kecepatan sudut sistem dengan mengecilkan momen inersianya, atau Anda dapat memperkecil kecepatan sudut sistem dengan memperbesar momen inersianya.

Contoh soal 6.2.2

Perhatikan gerakan penari pada permainan *ice skating* (menari di atas es) berikut ini!



Gambar 36. Gerakan Penari balet saat berputar menggunakan prinsip fisika tentang Rotasi

<http://www.klikfisika.com/2016/01/mengapa-pa-pemain-ice-skating-berputar.html>

- Gunakan konsep hukum kekekalan momentum sudut untuk menjelaskan gerakan penari ini pada keadaan gambar (a) dan gambar (b).
- Pada keadaan manakah penari memiliki kecepatan berputar yang besar?

Pembahasan

Saat akan mulai berputar penari merentangkan tangannya seperti terlihat pada gambar (a) dan bertumpu pada salah satu kakinya. Hal ini dilakukan untuk memudahkan membuat putaran, menambah kecepatan putaran dan membuat momen inersia (I)

Tangan penari yang terentang horisontal dianggap sebagai sebuah batang homogen yang panjangnya ℓ dan salah satu kaki yang sebagai pusat rotasi dan sumbu rotasi pada penari. Untuk batang homogen besarnya momen inersia di tengah batang ialah

$$I_p = \frac{1}{12} m \cdot R^2$$

Ketika sudah mencapai putaran yang diinginkan, penari akan melipat tangannya.

Ketika melipat tangannya, momen inersia skater lebih kecil dari pada saat merentangkan tangannya.

Momentum sudut penari harus sama besar saat merentangkan tangan (pada putaran yang diinginkan) dan saat melipat tangannya. Ketika melipat tangan momen inersia penari akan berkurang dan pengurangan ini akan berakibat bertambahnya kecepatan putaran penari.

Ketika merentangkan tangan momen inersia I_p besar dan kecepatan putaran ω kecil. Ketika melipat tangan momen inersia I_p kecil dan kecepatan sudut ω besar penari akan berputar lebih cepat.



Penugasan 2 : Proyek

Ambillah sebuah telur yang sudah matang lalu putar di atas meja dengan kecepatan putaran tertentu. Hitung momentum sudut telur terhadap sumbu putarannya?

1. Diskusikan dengan teman dikelompok Anda bagaimana menentukan momentum sudut putaran telur tersebut?
2. Mengapa yang digunakan adalah telur yang sudah s
3. Tulislah langkah-langkah yang akan dilakukan!
4. Tulislah alat-alat yang diperlukan.
5. Momen inersia (I) dari telur dapat dilihat dari tabel 1.
6. Tentukan momentum sudut dan energi kinetik rotasi.

Latihan 2

1. Seorang panari balet berputar dengan tangan terentang dan dengan kecepatan sudut 1,5 putaran tiap detik di atas lantai licin. Momen Inersia ketika tangan terentang 5,13 kg.m². kemudian ia mengangkat kedua tangannya sambil dirapatkan sehingga momen inersianya berkurang menjadi 2,1 kg.m². Hitung kecepatan sudut putarnya sekarang, apakah bertambah atau berkurang?
2. Sebuah kompresor Angin yang umum dijumpai di bengkel motor/mobil memiliki 2 roda yang berputar bersamaan ketika digunakan., seperti gambar 34 berikut. Kedua roda dihubungkan dengan tali.
 - a) Tentukan perbandingan momen inersia roda (a) dan (b)?
 - b) Tentukan perbandingan massa kedua roa?
 - c) Tentukan kecepatan sudut masing-masing roda?
 - d) Manakah roda yang berputar lebih cepat. Jelaskan!

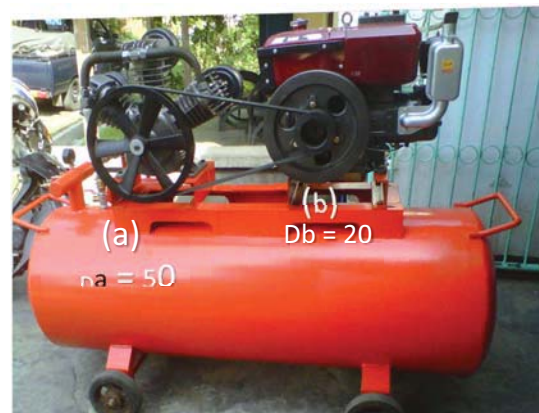
Petunjuk: Anggap roda yang berputar

sebagai sebuah silinder dengan $I = 0,5Md^2$, D = diameter roda, dan roda diputar dengan energi listrik pada frekuensi 50 Hz.

[Jawab : $\frac{I_a}{I_b} = 2,5$, $\frac{M_a}{M_b} = 0,4$, $\omega = 314$ rad/s]



Gambar 37. Penari balet akan memiliki beberapa posisi tangan saat menari



Gambar 38 Kompresor angin dengan 2 roda yang berputar

3. Sebuah keping CD ukuran standar **di putar** pada CR-room seperti gambar 2.7. Diameter rata-rata keping CD 120 mm, dengan kapasitas Audio 74 – 79 menit, dan kapasitas data 650 – 870 mb dan berat 20 gram. Berapakah energi kinetik rotasi CD ini?

Momen Inersia CD dapat dilihat pada tabel 1, frekuensi listrik yang digunakan untuk memutar CD adalah 50 Hz.

$$[E_k = 7,2 \times 10^{-5} \text{ Joule}]$$



Gambar 39 Keping CD diputar pada sebuah CD-room Laptop. yang berputar

4. Sebuah bola pejal dengan massa 10 kg dan jari-jari 20 cm berada pada bidang datar licin. Bola menggelinding dengan kelajuan linier 5 m/s dan kecepatan sudut 6 rad/s. Tentukan energi kinetik total!

$$[E_T = 127,88 \text{ Joule}]$$

5. Salah satu permainan tradisional Indonesia yang dahulu dimainkan anak-anak ialah permainan mendorong ban bekas sepeda motor seperti gambar 40. Jika massa ban bekas 3,5 kg, tinggi ban 512 mm dan anak-anak pada gambar tersebut berlari dengan kecepatan tetap 5 m/s, hitunglah:

- Kecepatan sudut ban ketika berputar?
- Momentum sudut ban?
- Energi kinetik rotasi ban?

Petunjuk: $I = m \cdot r^2$ (r = jari-jari ban)

Jawab : $[\omega = 19,53 \text{ rad/s}, L = 4,48 \text{ N.m}, E_k = 43,75 \text{ J}]$



Gambar 40 Permainan tradisional Indonesia mendorong ban bekas

Sebelum Anda melanjutkan mempelajari Unit 3 berikut, periksa kembali apakah Anda sudah memahami benar modul Unit 6.2 ini. Anda patut diberi apresiasi atas usaha yang sungguh-sungguh ketika mempelajari modul ini. Sajaah Anda belajar di Unit 6.2 akan menambah perbendaharaan dan pengetahuan praktis untuk memahami berbagai fenomena gerak rotasi. Misalnya tentang ukuran diameter ban kendaraan bermotor dan pengaruhnya pada kinerja sebuah kendaraan.

Namun demikian Anda harus memastikan bahwa modul unit 6.2. ini sudah benar-benar Anda pahami sebelum melanjutkan ke unit 3. Di Unit 3 modul ini Anda akan mempelajari Rahasia batu bertumpuk.

Selamat melanjutkan ke Unit 6.3!

Unit 3

Rahasia Keseimbangan

Salam Majawa. Semoga Anda sehat dan siap untuk belajar lagi. Amin!

Anda telah menunjukkan usaha yang sungguh-sungguh untuk mempelajari modul ini. Di unit 3 ini Anda akan menemukan penjelasan tentang “rahasia batu bertumpuk” berdasarkan fisika. Lihatlah ke sekeliling Anda, benda-benda berada dalam keadaan diam di tanah, di atas meja, atau tersusun di atas benda lainnya. Bangunan-bangunan tinggi dapat berdiri kokoh, Anda dapat berdiri tegak, bahkan yang sangat spektakuler dan langka seperti batu bertumpuk yang terlihat di sungai Cibojong Sukabumi. Benda-benda tersebut dapat berada dalam keadaan diam karena memiliki keseimbangan.



Gambar 41 Rock Balance Indonesia

Sumber : <https://kumparan.com/@kumparannews/bnpb-tumpukan-batu-di-sungai-cidahu-bukan-dibuat-kekuatan-mistik>

Anda akan mengungkap rahasia dibalik diamnya benda-benda di sekitar Anda atau rahasia mengapa Anda dapat berdiri tegak termasuk batu bertumpuk yang semula diduga sebagai sesuatu yang mistik. Batu bertumpuk yang tampak sangat ajaib dan indah tersebut sesungguhnya adalah karya seni buatan tangan manusia. Namun keberadaannya yang ajaib dan indah tersebut karena memenuhi hukum-hukum fisika tentang keseimbangan.

Anda akan memulai pelajaran tentang kesetimbangan ini dari hal-hal yang sederhana dahulu mulai dari konsep pusat massa, titik berat benda tegar, syarat-syarat keseimbangan, jenis-jenis keseimbangan dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Anda akan mengakhiri pembelajaran dengan melakukan percobaan sederhana yaitu menentukan letak titik berat benda tegar yang bentuknya tidak beraturan.

Selamat Belajar!

1. Apakah Keseimbangan Benda Tegar itu?

Sebuah benda disebut benda tegar apabila pengaruh gaya luar kepada benda tersebut tidak memengaruhi bentuknya. Ketika dikerjakan gaya tarik atau gaya tekan bentuknya tetap karena sifat fisiknya yang keras. Di kehidupan sehari-hari Anda selalu memerlukan benda tegar seperti batu, kayu, besi dan benda-benda keras lainnya untuk memudahkan dalam beraktivitas.

Di bidang seni juga tidak kalah hebatnya pemanfaatan benda tegar, misalnya batu yang disusun sedemikian rupa seperti gambar 3.1, untuk membuat ukiran menggunakan bahan kayu sangat populer di berbagai suku di Indonesia. Beberapa karya seni menggunakan kayu sebagai bahannya, misalnya ukiran kayu jati Jepara, ukiran di rumah adat suku Toraja di Sulawesi Selatan, dan karya seni pahat suku Asmat di Papua sangat terkenal di seluruh dunia.

Menurut Hukum I Newton tentang gerak,

Sebuah benda yang semula dalam keadaan diam akan tetap diam (tidak bergerak) apabila resultan gaya-gaya luar yang bekerja pada benda tersebut nilainya nol, $\sum F = 0 \text{ N}$

Gambar 41 dan 42 menunjukkan keadaan diam atau seimbang sesuai hukum I Newton, karena gaya-gaya luar seperti gaya berat dan gaya tiupan angin ketika bekerja pada benda tidak mempengaruhi bentuk dan kedudukannya. Keadaan diam tidak bergerak dan tidak berubah bentuk ketika gaya luar bekerja inilah yang dinamakan kesetimbangan benda tegar.

Ada dua keseimbangan benda tegar. Pertama **Keseimbangan statis** yaitu ketika benda berada dalam keadaan diam ($v = 0 \text{ m.s}^{-1}$). Kedua, **Keseimbangan Dinamis** yaitu ketika benda bergerak dengan kecepatan tetap ($v = \text{konstan}$).



Gambar 42 Karya seni pahat suku Asmat di Papua

Sumber : [https:// jakartaseru.com/ekspedisi-asmat-ekstotik-ukiran-patung-suku-asmat/](https://jakartaseru.com/ekspedisi-asmat-ekstotik-ukiran-patung-suku-asmat/)

Modul ini hanya membahas keseimbangan statis untuk benda titik dan benda tegar saja.

Keseimbangan benda tegar sangat penting dipelajari karena banyak sekali penerapannya misalnya dalam bidang arsitek dan teknik sipil (merancang dan mendisain rumah yang kokoh, membangun jembatan gantung harus diketahui gaya-gaya luar yang akan dialami kabelnya agar tetap kokoh), dalam bidang olahraga (yudo, senam, surfing), dalam seni pertunjukan akrobatik seperti Gambar 43 dan dalam bidang terapi otot tubuh untuk menjaga kekuatan otot agar tetap kokoh menjaga keseimbangan tubuh.



Gambar 43 Senam Akrobatik memerlukan kekuatan otot untuk keseimbangan dan kelenturan

Sumber : <http://senamsehatbangsakuang.blogspot.com/2017/08/senam-akrobatik.html>

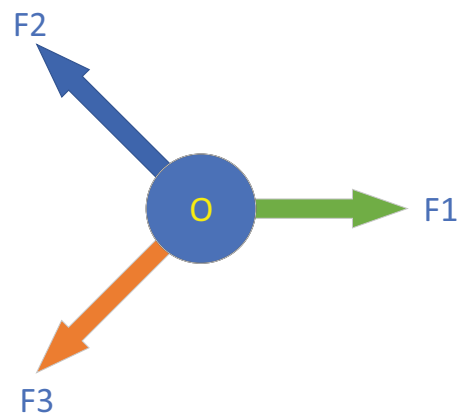
2. Syarat Keseimbangan Benda Tegar

a. Keseimbangan partikel (Titik)

Anda akan mempelajari lebih dahulu tentang keseimbangan titik atau keseimbangan partikel. Benda tegar yang disusun oleh triliunan partikel akan terlihat sebagai sebuah titik jika dilihat dari jarak yang sangat jauh, sehingga dapat dianggap sebagai sebuah partikel.

Misalkan kepada partikel O dikerjakan 3 gaya F_1 , F_2 , dan F_3 dengan posisi dan kedudukan seperti gambar 3.3. Partikel O diam atau bergerak akan ditentukan oleh pengaruh ke-3 gaya tersebut. Gabungan pengaruh ke-3 gaya ini merupakan sebuah gaya tunggal yang dinamakan Resultan (R). Resultan gaya-gaya pada sebuah benda sudah dipelajari di kelas X, pada pokok bahasan vektor.

Resultan ke-3 gaya dari gambar 3.3 dituliskan secara matematika



Gambar 44 Sebuah partikel /benda titik O mengalami 3 gaya luar

$$R = \sum F_i = F_1 + F_2 + F_3$$

Untuk menghitung nilai R tersebut Anda gunakan sistem koordinat (X, Y) dan aturan trigonometri ($\sin \alpha$, $\cos \alpha$, dan $\tan \alpha$).

Contoh soal 3.1

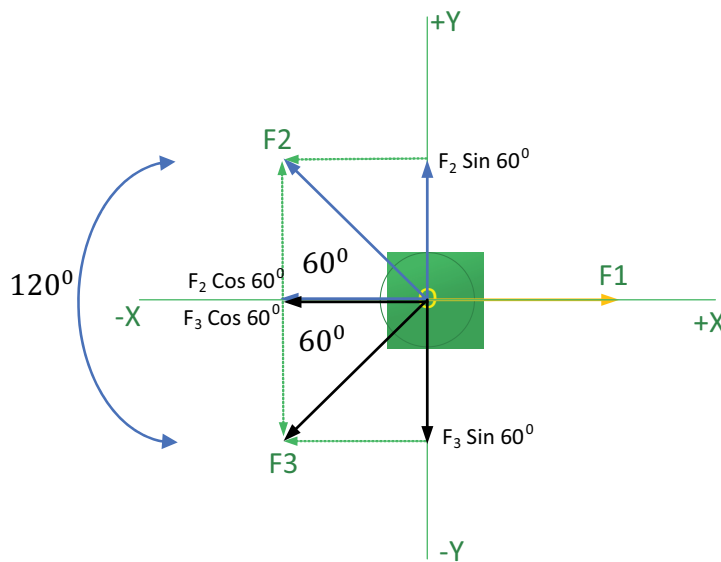
Tentukan gaya tunggal (resultan) dan keadaan partikel O pada gambar 3.3 jika

a) $F_1 = F_2 = F_3 = F$ dan sudut antara F_2 dan F_3 $\alpha = 120^\circ$

b) $F_1 = 10\text{ N}$, $F_2 = 4\text{ N}$ dan $F_3 = 4\text{ N}$ dan sudut antara F_2 dan F_3 $\alpha = 120^\circ$

Pembahasan:

Anda harus menempatkan partikel O dan gaya-gaya yang bekerja pada sistem koordinat (X, Y) kemudian memroyesikan gaya-gaya tersebut di sumbu X dan Sumbu Y, seperti gambar 3.4 berikut:



Gambar 45 Sebuah partikel /benda titik O dan gaya -gaya yang bekerja pada sistem koordinat X Y

Sesuai aturan trigonometri: dan $\sin 60 = 0,5\sqrt{3}$ dan $\cos 60 = 0,5$, maka

a) Untuk $F_1 = F_2 = F_3 = F$ dan sudut antara F_2 dan F_3 $\alpha = 120^\circ$

Gaya pada sumbu X:

$$F_x = F_1 + (-F_2 \cos 60^\circ) + (-F_3 \cos 60^\circ)$$

$$F_x = F - F(0,5) - F(0,5) = F - F = 0\text{ N}$$

$$F_x = 0\text{ N}$$

Gaya pada sumbu Y:

$$F_y = +F_2 \sin 60^\circ + (-F_3 \sin 60^\circ)$$

$$F_y = +F(0,5\sqrt{3}) - F(0,5\sqrt{3}) = 0\text{ N}$$

$$F_y = 0\text{ N}$$

$$\text{Resultan } R = \sqrt{(F_x^2 + F_y^2)} = 0 \text{ N}$$

Resultan (R) = 0 N, berarti partikel O dalam keadaan diam (tidak bergerak) atau dalam keseimbangan statik.

- b) Untuk $F_1 = 10 \text{ N}$, $F_2 = 4 \text{ N}$ dan $F_3 = 4 \text{ N}$ dan sudut antara F_2 dan F_3 $\alpha = 120^\circ$

Gaya pada sumbu X:

$$\begin{aligned} F_x &= F_1 + (-F_2 \cos 60^\circ) + (-F_3 \cos 60^\circ) \\ F_x &= 10 - 4(0,5) - 4(0,5) = 10 - 4 = 6 \text{ N} \\ \mathbf{F_x} &= \mathbf{6 \text{ N}} \end{aligned}$$

Gaya pada sumbu Y:

$$\begin{aligned} F_y &= +F_2 \sin 60^\circ + (-F_3 \sin 60^\circ) \\ F_y &= +4(0,5\sqrt{3}) - 4(0,5\sqrt{3}) = 0 \text{ N} \\ \mathbf{F_y} &= \mathbf{0 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\text{Resultan } R = \sqrt{(6^2 + 0)} = 6 \text{ N}$$

Resultan (R) = 6 N, berarti partikel O dalam keadaan bergerak ke kanan sepanjang sumbu +X dengan pengaruh gaya tunggal R = 6 N. Apabila selama bergerak partikel O hanya dipengaruhi oleh gaya tunggal R = 6 N, maka partikel akan berada dalam keadaan keseimbangan dinamis.

Dengan demikian dapat disimpulkan syarat keseimbangan statik yaitu

Sebuah partikel atau benda titik memiliki keseimbangan statik jika jumlah gaya atau resultan gaya (R) yang bekerja pada benda tersebut nilainya nol. Secara matematika ditulis:

$$\sum F_x = 0 \text{ N} \quad \text{dan} \quad \sum F_y = 0 \text{ N}$$

b. Kestimbangan Benda Tegar

Pada benda tegar merupakan gabungan dari triliunan partikelnya sehingga ketika bergerak memiliki beberapa kemungkinan yaitu

- 1) bergerak secara translasi saja

- 2) bergerak secara rotasi saja
- 3) bergerak secara menggelinding yaitu translasi dan rotasi sekaligus. Misalnya pada bola yang menggelinding, gerakan ban kendaraan bermotor.

Sebuah benda akan bergerak rotasi (berputar pada sumbunya) jika ada gaya luar yang bekerja berupa torsi (τ) pada benda tersebut. Jika resultan (jumlah) torsi (τ) yang bekerja pada benda nilainya nol ($\sum \tau = 0 \text{ N.m}$), maka benda tersebut dalam keadaan setimbang rotasi atau tidak berputar.

Keadaan tidak bergerak secara translasi dan rotasi dari benda tegar dinamakan keseimbangan benda tegar. Secara matematika ditulis:

$$\sum F_x = 0 \text{ N} \quad \text{kesemimbangan partikel}$$

$$\sum F_y = 0 \text{ N} \quad \text{kesemimbangan partikel}$$

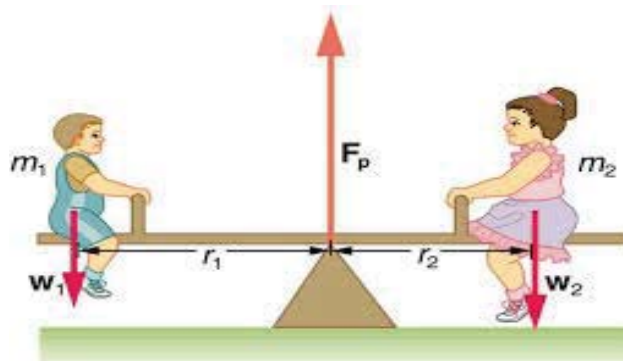
$$\sum \tau = 0 \text{ N.m} \quad \text{kesemimbangan rotasi}$$

Benda tegar berada dalam keseimbangan jika jumlah gaya yang bekerja sama dengan nol dan jumlah momen gaya (torsi) terhadap sembarang titik juga sama dengan nol.

Untuk lebih memahaminya Anda perlu mencermati contoh soal berikut:

Contoh Soal 3.2

Dua orang anak Dina dan Dani sedang bermain jungkat jungkit seperti gambar 46



Gambar 3.6 Diagram gaya-gaya pada permainan jungkat-jungkit.

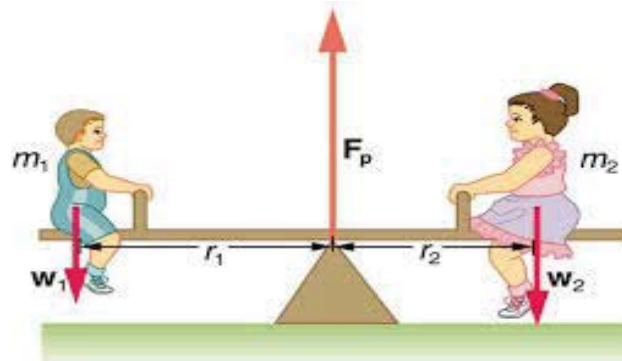
Sumber: <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/conditions-for-equilibrium/>

Untuk percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$, berat Dina 400 N dan Dani 300 N. Panjang papan jungkitnya 160 cm. Tentukanlah:

- a) jika Dina dan Dani duduk diujung papan dengan jarak masing-masing 80 cm ke titik tumpu, berapakah momen gaya di titik tumpu?
- b) Dimanakah Dina harus duduk agar tercapai keseimbangan rotasi?
- c) Besar dan arah gaya reaksi di titik tumpu?
- d) Momen gaya di ujung kiri dan kanan batang, kesimpulan apakah yang Anda peroleh?

Pembahasan:

Anda gambarkan lebih dahulu diagram gaya-gaya yang bekerja pada system jungkat-jungkit tersebut



Gambar 3.6 Diagram gaya-gaya pada permainan jungkat-jungkit.

Sumber: <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/conditions-for-equilibrium/>

- a) $\ell_a = \ell_i = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$ dan titik tumpu P

$$\begin{aligned}\sum \tau_O &= W_a \cdot l_a + W_i \cdot l_i \\ \sum \tau_O &= (400 \times 0,8) + (-300 \times 0,8) \\ \sum \tau_O &= 320 - 240 \\ \sum \tau_O &= 80 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Sistem jungkat-jungkit tidak memiliki keseimbangan rotasi, sehingga akan berputar berlawanan arah jarum jam karena pengaruh torsi 80 N.m

- b) $\ell_a = \dots$? jika $\ell_i = 80 \text{ cm}$ dari titik tumpu O dan sistem jungkat – jungkit setimbang translasi ($\sum \tau_O = nol$)

$$\begin{aligned}\sum \tau_O &= W_a \cdot l_a + W_i \cdot l_i \\ 0 &= 400 \times l_a + (-300 \cdot 0,8) \\ 0 &= 400 \times l_a - 240 \\ 0 &= 400 \times l_a - 240 \\ l_a &= 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm terhadap titik tumpu.}\end{aligned}$$

Dina harus bergeser duduk mendekati titik tumpu sebesar 20 cm dari ujung papan.

- c) Gaya Tunggal atau gaya reaksi dititik tumpu sama dengan resultan gaya-gaya yang bekerja:

$$R = 400 \text{ N} + 300 \text{ N} = 700 \text{ N}$$

Gaya reaksi di titik tumpu timbul karena tekanan yang diberikan oleh berat Dina dan Dani arahnya tegak lurus ke atas sesuai dengan Hukum ke-III Newton tentang Aksi dan Reaksi (Aksi = - Reaksi)

Pada keadaan seimbang ini momen di semua titik di sepanjang papan tersebut adalah nol

3. Pusat Masa dan Pusat Berat

Massa merupakan besaran yang menunjukkan ukuran kelembaman (inersia) sebuah benda. Massa sebagai ukuran kelembaman sebuah benda ditandai oleh adanya kecenderungan benda tersebut untuk menolak perubahan terhadap keadaannya yang semula. Jika Anda meletakkan sebuah benda pada neraca maka pada jarum penunjuk skala pada neraca akan menunjuk suatu angka tertentu. Angka ini menunjukkan ukuran kelembaman yang dimiliki oleh benda tersebut. Angka tersebut tidak menunjukan berat benda sebagaimana yang dipahami selama ini. Massa benda dinyatakan dalam satuan kilogram (kg)

Berat merupakan massa benda itu sendiri yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi di tempat benda berada. Secara matematika angka yang menyatakan ukuran berat benda adalah massa benda tersebut dikalikan dengan percepatan gravitasi g ditempatnya berada. Besaran berat umumnya ditulis dengan persamaan

$$W = m \cdot g$$

Di mana	m	menyatakan massa benda dengan satuan kilogram (kg),
	g	menyatakan percepatan gravitasi setempat dengan satuan m.s^{-2} dan
	W	menyatakan berat benda dengan satuan kg.m.s^{-2}

Di definisikan bahwa,

$$1 \text{ kg.m.s}^{-2} = 1 \text{ Newton (N)}$$

sehingga satuan berat lebih umum dinyatakan dalam satuan Newton (N).

Ketika Anda menggunakan timbangan maka angka yang ditunjukan oleh timbangan tersebut menunjukkan ukuran kelembaman atau massa benda tersebut.

Anda sudah mengetahui bahwa sebuah benda terdiri dari sekumpulan partikel, di mana setiap partikel memiliki massanya sendiri-sendiri. Massa sebuah benda merupakan jumlah atau resultan dari massa masing-masing partikelnya. Tempat kedudukan resultan massa partikel-partikel dari sebuah benda yaitu massanya dinamakan pusat massa benda tersebut. Jadi,

Titik Pusat Massa (TPM) merupakan sebuah titik di mana massa benda atau massa partikel-partikelnya dapat dipusatkan.

Secara matematika letak TPM sebuah benda umumnya dinyatakan dalam koordinat (x,y) . Di mana koordinat TPM dapat ditentukan dengan persamaan

$$x_{pm} = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2 + x_3 \cdot m_3 + \dots + x_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$

$$y_{pm} = \frac{y_1 \cdot m_1 + y_2 \cdot m_2 + y_3 \cdot m_3 + \dots + y_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$

Di mana m_n adalah massa partikel yang ke- n ($n = 1, 2, 3, \dots, \infty$)

X_n adalah letak partikel ke- n terhadap sumbu X

Y_n adalah letak partikel ke- n terhadap sumbu Y

X_{pm} adalah letak TPM terhadap sumbu X

Y_{pm} adalah letak TPM terhadap sumbu Y

Letak titik pusat massa (TPM) juga merupakan letak Titik Pusat Berat (TPB) benda tersebut.

Titik Pusat Berat (TPB) sebuah benda juga merupakan titik di mana gaya yang diberikan melalui TPB ini tidak akan menimbulkan torsi atau efek rotasi.

Satu-satunya efek yang dihasilkan jika gaya diberikan melalui titik pusat berat sebuah benda ialah benda akan bergerak translasi atau bergeser.

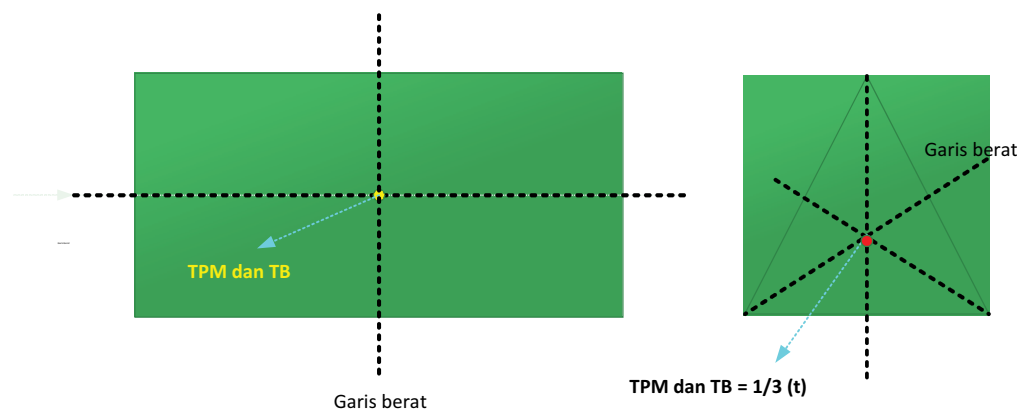
Tentunya Anda sudah memahami konsep-konsep penting di atas. Sekarang mari melanjutkannya dengan mempelajari bagaimana menentukan letak TPB benda tegar. Titik Pusat Berat (TPB) selanjutnya Anda menamainya Titik Berat (TB) saja.

a) Benda Tegar yang Bentuknya Beraturan

Letak titik berat benda yang beraturan dan sederhana bentuknya terletak pada perpotongan garis-garis beratnya.

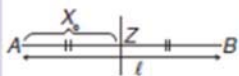
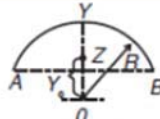
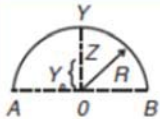
Garis berat merupakan garis yang ditarik melalui pusat berat dan membagi 2 sama besar sisi-sisinya. Misalnya pada sebuah segi empat letak titik beratnya berada di tengah-tengah segi empat tersebut, seperti terlihat pada gambar 47

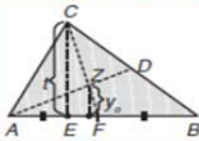
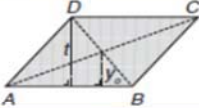
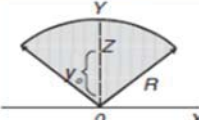
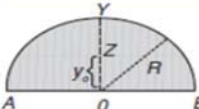
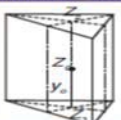
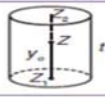
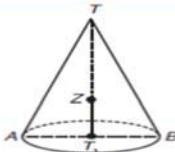
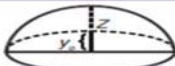
Letak titik berat (TB) beberapa benda tegar lainnya dapat dilihat pada table 2 dan 3 berikut ini,



Gambar 47 Letak TPM dan TB benda homogen dan beraturan bentuknya lebih mudah ditentukan.

Tabel 2. Letak titik berat benda tegar berupa batang yang beraturan bentuknya

Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat	Keterangan
Garis Lurus		$y_o = \frac{1}{2} AB$	Z = titik tengah garis
Busur lingkaran		$y_o = \frac{\overline{AB}}{AB} R$	R jari-jari lingkaran $\overline{AB}$ = tali busur AB AB = busur AB
Busur setengah lingkaran		$y_o = \frac{2R}{\pi}$	R = jari-jari lingkaran

Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat	Keterangan
Bidang segitiga		$y_o = \frac{1}{3} t$	t = tinggi segitiga
Jajaran genjang Belah ketupat Bujur sangkar Persegi panjang		$y_o = \frac{1}{2} t$	t = tinggi z = perpotongan diagonal AC dan BD
Bidang juring lingkaran		$y_o = \frac{2}{3} R \times \frac{\text{tali busur AB}}{\text{busur AB}}$	R = jari-jari lingkaran
Bidang setengah lingkaran		$y_o = \frac{4R}{3\pi}$	R = jari-jari lingkaran
Nama Benda	Gambar Benda	Letak Titik Berat	Keterangan
Bidang kulit prisma		Z pada titik tengah garis $z_1 z_2$ $y_o = \frac{1}{2} l$	l = panjang sisi tegak
Bidang kulit silinder (tanpa tutup)		$y_o = \frac{1}{2} t$ $A = 2\pi R \cdot T$	t = tinggi silinder R = jari-jari lingkaran alas A = luas kulit silinder
Bidang kulit limas		$T'z = \frac{1}{3} T'T$	T'T = garis tinggi ruang
Bidang kulit kerucut		$zT' = \frac{1}{3} TT'$	TT' = tinggi kerucut T = pusat lingkaran alas
Bidang kulit setengah bola		$y_o = \frac{1}{2} R$	R = jari-jari

b) Titik Berat Gabungan Beberapa Benda Yang Bentuknya Beraturan

Untuk menentukan letak titik berat benda tegar gabungan dari beberapa benda tetapi bentuknya masih beraturan dapat Anda lakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

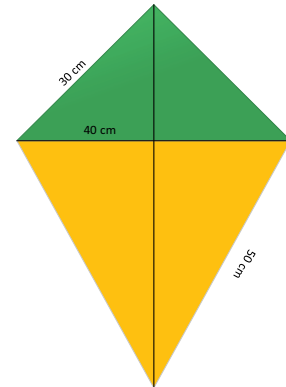
- 1) Posisikan gabungan benda tegar tersebut pada system koordinat (x,y)
- 2) Tentukan letak titik berat masing-masing bagian benda dengan melihat table 2, 3, dan 4
- 3) Proyeksikan letak titik berat masing-masing bagian ke sumbu x dan y untuk menentukan koordinatnya
- 4) Tentukan massa (m) atau luas bidang (A) bagian-bagian benda tegar tersebut
- 5) Gunakan persamaan pusat massa untuk menentukan letak titik berat gabungan
- 6) Untuk massa m dapat ditukar dengan luas bidang A.

Contoh soal

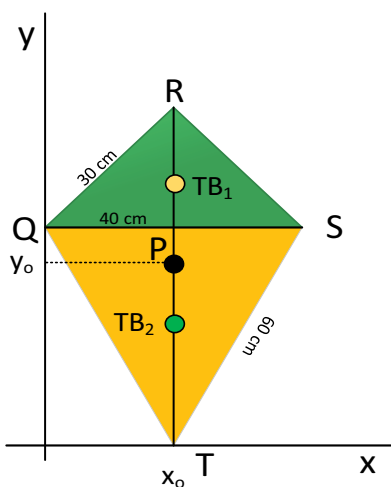
Amir dan Tono membuat layang-layang tetapi kesulitan untuk meletakkan tali pengikat agar dapat terbang dengan baik. Layang-layang hasil buatan Amir dan Tono ditunjukkan pada gambar 3.7.

- a. Tentukan letak titik berat layang-layang ini?
- b. Apakah saran Anda kepada Amir dan Tono untuk letak tali pengikat layang-layang?

Gambar 48 Sebuah benda berbentuk bidang ketupat merupakan gabungan dari beberapa segi tiga



Pembahasan:



a. Letakan layang-layang pada sistem koordinat (x,y) sebagai berikut

Anda melihat bahwa layang-layang terdiri dari bidang segi tiga QRSQ dan QTSQ.

$$PR = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ cm}$$

$$PT = \sqrt{50^2 + 60^2} = 72 \text{ cm}$$

$$A_1 = \text{Luas } QRSQ = \frac{1}{2} (80 \times 50) = 2000 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \text{Luas } QTSQ = \frac{1}{2} (80 \times 72) = 2880 \text{ cm}^2$$

Letak Titik Berat bidang QRSQ dan QTSQ

$$TB_1 = \frac{1}{3} (PR) = \frac{1}{3} (50) = 17 \text{ cm}$$

$$TB_2 = \frac{1}{3} (PT) = \frac{1}{3} (72) = 24 \text{ cm}$$

Koordinat Titik Berat bidang QRST dan QTSQ

$$x_1 = (PT + TB_1) = 72 + 17 = 89 \text{ cm}$$

$$x_2 = (PT - TB_2) = 72 - 24 = 48 \text{ cm}$$

$$y_1 = y_2 = 40 \text{ cm}$$

Karena koordinat Titik Berat bidang QRST dan QTSQ terhadap sumbu y sama-sama 40 cm, maka Anda hanya mencari koordinat terhadap sumbu x saja:

$$x_0 = \frac{x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{89(2000) + 48(2880)}{2000 + 2880} = \frac{316240}{4880} = 64,8 \text{ cm}$$

Letak titik berat layang-layang Amir dan Tono ialah pada titik $(x_0, y_0) = (64,8 ; 40) \text{ cm}$.

Agar layang-layang terbang seimbang tanpa berputar tali diikatkan pada titik beratnya yaitu $(64,8 ; 40) \text{ cm}$. Sesuai konsep titik berat, benda yang ditarik melalui pusat beratnya tidak akan berputar.

4. Jenis-Jenis Keseimbangan

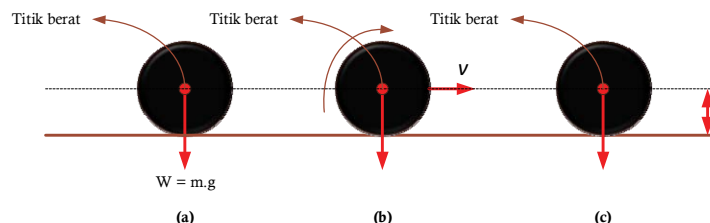
Tentu Anda masih ingat konsep dasar keseimbangan statik yaitu suatu keadaan di mana benda tidak berputar pada porosnya dan tidak bergerak lurus atau bertranslasi. Secara alamiah semua benda akan bergerak bertranslasi atau berputar untuk menuju keadaan seimbangnya. Namun demikian ada 3 keadaan benda tegar yang memenuhi keseimbangan statik. Untuk membedakannya Anda harus mengetahui dan menerapkan konsep titik berat (TB) tegar pada setiap keadaan benda.

Titik Berat (TB) atau pusat berat benda tegar adalah titik tempat kedudukan resultan gaya-gaya berat dari partikel-partikel benda tegar karena pengaruh gravitasi setempat.

Tiga keadaan keseimbangan statik benda tegar.

a. Keseimbangan Netral (indiferen)

Sebuah bola besi diletakkan di atas permukaan yang datar seperti gambar 3.9



Gambar 49 Keseimbangan stabil memiliki kedudukan titik berat yang tetap

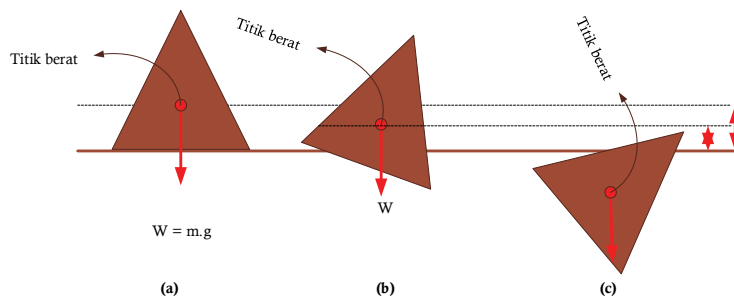
Ketika bola besi yang semula diam, gambar 3.12a diberi gangguan dan menggelinding dengan laju v , gambar 3.12b sampai berhenti kembali, gambar 3.12c tampak kedudukan titik beratnya tetap terhadap bidang geraknya.

Benda tegar yang memenuhi kriteria ini disebut memiliki keseimbangan netral.

Keseimbangan netral dimiliki benda tegar yang kedudukan titik beratnya tetap terhadap bidang geraknya walaupun memperoleh gaya luar yang mempengaruhi kedudukan awalnya.

b. Keseimbangan Labil

Sebuah bidang segitiga diletakkan di permukaan yang datar seperti gambar 3.12



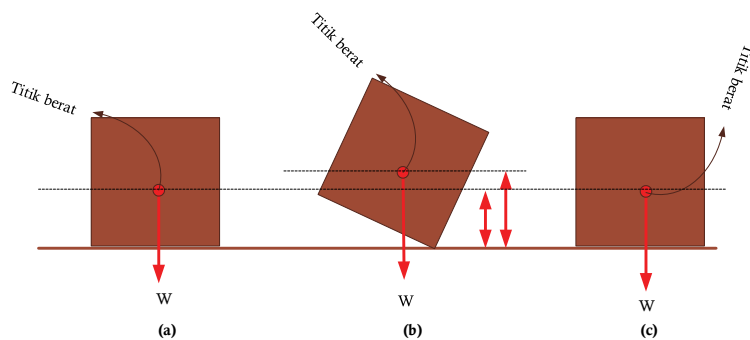
Gambar 50 Keseimbangan labil memiliki kedudukan titik berat yang lebih rendah dari kedudukan awalnya.

Keadaan keseimbangan labil dimiliki benda tegar ketika sebuah gangguan diberikan benda mengalami perubahan kedudukan yang menyebabkan posisi titik beratnya lebih rendah dari posisi semula. Pada keadaan ini (gambar 50b) benda dinamakan memiliki keseimbangan labil.

Ketika benda berada dalam keseimbangan labil mendapat gaya luar akan menyebabkan perubahan posisi titik berat yang lebih rendah dari semula dan benda tidak dapat kembali ke keadaan semula.

c. Keseimbangan Mantab

Sebuah bidang segitiga diletakkan di permukaan yang datar seperti gambar 51



Gambar 51 Keseimbangan mantab (b) memiliki kedudukan titik berat yang lebih tinggi dari kedudukan awalnya.

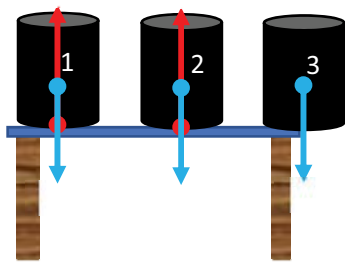
Keadaan keseimbangan mantab dimiliki benda tegar ketika diberi gaya yang menyebabkan perubahan kedudukan benda di mana posisi titik beratnya ikut berubah menjadi lebih tinggi dari posisi semula (gambar 51b). Setelah pengaruh gaya dihilangkan benda dapat kembali ke kedudukan semula (gambar 51c)

Ketika benda berada dalam keseimbangan mantab mendapat gaya luar akan menyebabkan perubahan posisi titik berat yang lebih tinggi dari posisi semula dan benda akan kembali ke keadaan semula.

Keseimbangan seperti apakah yang dimiliki batu bertumpuk?

Waktunya sekarang Anda mengungkap rahasia batu bertumpuk. Anda harus menggunakan semua konsep keseimbangan yang sudah dipelajari untuk dapat menjelaskan bagaimana batu-batu itu dapat disusun sedemikian indahnya. *Pertama*, batu-batu tersebut haruslah merupakan benda tegar homogen. *Kedua*, batu-batu tersebut memiliki pusat berat sendiri-sendiri. *Ketiga*, saat mengalami gaya luar yang dikerjakan melalui titik beratnya, benda tegar tidak mengalami rotasi atau tidak akan berputar. *Keempat*, setiap benda yang berada dalam medan gravitasi bumi secara alamiah mengalami gaya luar yang disebabkan oleh medan gravitasi setempat; gaya luar ini dinamakan gaya berat (W) dan arahnya selalu tetap menuju permukaan bumi (tanah), gambar 50 dan 51. *Kelima*, bentuk batu-batu tersebut tidak beraturan sehingga diperlukan pengalaman dan insting/naluri untuk memperkirakan posisi titik beratnya.

Anda perlu mengamati fakta sederhana berikut ini (gambar 52) sebelum benar-benar dapat menjelaskan rahasia di balik batu bertumpuk tersebut.



Gambar 52 Tiga gelas diletakkan di meja untuk menjelaskan kesetimbangan

Gelas 1 dan 2 memiliki keseimbangan stabil. Ketika diletakkan di atas meja gaya berat (W) akan memberi tekanan pada meja. Menurut hukum III Newton meja akan memberi reaksi terhadap gaya berat yang besarnya sama dan arahnya berlawanan. Kedua gaya ini akan saling meniadakan, dan akibatnya ialah resultan gaya yang bekerja nol. Gelas 1 dan 2 dalam keseimbangan stabil.

Gelas 3 berada dipinggir meja. Gaya berat tidak memberi tekanan penuh pada meja, hanya sebagian massa benda yang masih memberi tekanan. Gaya-gaya yang bekerja pada gelas 3 diperlihatkan pada gambar 53

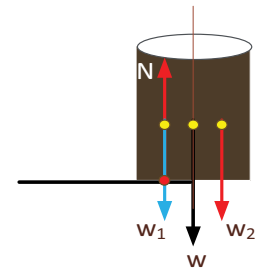
$w = w_1 + w_2$

$w = w_1 + w_2$

w_1 berat bagian gelas yang masih berada dipermukaan meja

w_2 berat bagian gelas yang berada di luar permukaan meja

w resultan gaya berat atau berat total gelas 3



Gambar 53 diagram gaya pada gelas ke-3

Persamaan torsi:

$$\sum \tau = d_1 \cdot w_1 - d_1 \cdot N - d_2 \cdot w_2$$

karena $d_1 \cdot w_1 - d_1 \cdot N = 0$, maka

$$\sum \tau = -d_2 \cdot w_2$$

Resultan torsi yang bekerja pada gelas 3 adalah $\tau = d_2 \cdot w_2$ akan memengaruhi gelas ke-3 untuk berotasi.

Gaya berat w_2 akan menimbulkan torsi dengan pusat tepi meja, sebagai akibatnya gelas akan berotasi dan jatuh.

Dengan pemahaman ini Anda dapat menjelaskan fenomena keseimbangan pada batu bertumpuk. Masing-masing batu memiliki pusat berat masing-masing. Agar batu dapat berdiri tegak pada batu yang lainnya harus diupayakan agar resultan gaya-gaya berat pada masing-masing batu harus nol. Hal ini dimungkinkan oleh:

- 1) Hukum III Newton tentang aksi dan reaksi menyatakan bahwa ketika benda A mengerjakan gaya tekan kepada benda B, maka secara otomatis benda B juga akan membalas gaya tekan dengan gaya normal (N) yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan sehingga resultan gaya menjadi nol, dan benda akan memiliki kesetimbangan stabil.



memberikan tekanan yang besar di sumbu rotasinya

- 2) Oleh sebab bentuk batu yang tidak beraturan maka sangat besar kemungkinan terjadinya jumlah torsi yang tidak sama dengan nol. Tetapi jumlah torsi yang tidak nol ini dapat diatasi dengan meletakkan batu di atas batu lainnya sedemikian hingga bagian gaya berat batu yang dapat menimbulkan torsi diseimbangkan. *Pertama*, meletakkan batu dengan gaya berat w tetap berada pada sumbu rotasi. *Kedua*, dengan meletakkan batu yang lebih berat di atas sehingga gaya berat batu yang lebih besar akan memberikan tekanan yang cukup untuk menghilangkan pengaruh gaya-gaya yang dapat menimbulkan torsi.
- 3) Fenomena batu bertumpuk yang tampak indah dan luarbiasa ini dapat terjadi karena prinsip fisika dipenuhi di mana gaya-gaya luar yang bekerja pada sistem batu bertumpuk, yaitu $\sum F = 0 \text{ N}$ dan $\sum \tau = 0 \text{ N}$.
- 4) Tidak cukup hanya memahami dan menerapkan prinsip keseimbangan menurut fisika pada batu bertumpuk. Anda harus memiliki kesabaran, ketekunan, insting yang kuat untuk memilih batu yang dapat ditumpuk dan pengalaman berlatih membuat batu bertumpuk.
- 5) Untuk membuat susunan batu bertumpuk mulailah dari yang paling sederhana dahulu seperti ditunjukkan pada gambar 55 Jika Anda bersungguh-sungguh punya keinginan yang kuat, niscaya akan berhasil.



Gambar 55 Batu bertumpuk merupakan karya seni tinggi, hasil kesabaran dan kecermatan, bukan karya makhluk halus.
<https://tirto.id/batu-bersusun-hasil-kesabaran-amp-kecermatan-bukan-makhluk-halus-cEfw>

Man Jadda Wajada. Selamat mencoba.

Penugasan 3 : Proyek Batu Bertumpuk

Petunjuk : Anda akan melakukan kegiatan berikut ini dalam kelompok masing-masing, karena tugas berikut merupakan tugas bersama sehingga harus dilakukan secara berkelompok dengan jumlah anggota paling banyak 4 orang.

1. Kegiatan 1: Mintalah salah satu dari anggota kelompok Anda untuk berdiri ditengah-tengah ruangan. Anggota yang lainnya meletakkan pensil atau pena di antara ke dua kaki teman Anda yang sedang berdiri. Mintalah teman Anda tersebut untuk **membungkuk** memungut pensil di antara kakinya. Sementara teman Anda memungut pensil tersebut anggota yang lain mencatat gerakannya secara bertahap sampai teman Anda dapat mengambil pensil tersebut. Pastikan teman Anda memungut pensil dengan membungkuk, bukan berjongkok.

Kegiatan 2: Sekarang minta teman Anda untuk berdiri dengan punggung menempel pada tembok di ruangan tempat kegiatan berlangsung. Kemudian seorang anggota kelompok meletakkan pensil atau pulpen yang sama di antara kedua kaki teman Anda yang sedang berdiri menempel pada tembok. Selanjutlah mintalah teman Anda tersebut untuk **membungkuk** memungut pensil di antara kakinya. Sementara teman Anda memungut pensil tersebut anggota yang lain mencatat gerakannya secara bertahap sampai teman Anda dapat mengambil pensil tersebut. Pastikan teman Anda memungut pensil dengan membungkuk, bukan berjongkok.

Kegiatan 3: Diskusikan dalam kelompok perbedaan gerakan teman Anda memungut pensil atau pulpen pada kegiatan 1 dan 2. Mengapa pada kegiatan 2 teman Anda tidak dapat memungut pensil tersebut dengan cara yang sama dengan di kegiatan 1? Laporkan hasil diskusi kelompok kepada guru/tutor atau pembimbing Anda!

2. Percobaan Membuat Batu Bertumpuk

Kumpulkan beberapa batu yang menurut Anda dapat disusun menjadi susunan batu bertumpuk yang indah. Lakukan Bersama-sama dengan kelompok Anda. Buatlah dokumentasi foto dan atau video proses pembuatan batu bertumpuk tersebut. Untuk menambah pengetahuan dalam membuat batu bertumpuk ini, Anda dapat melihat video dari youtube (<https://www.youtube.com/watch?v=IAF6d0PmI48>) atau mencari informasi melalui internet.

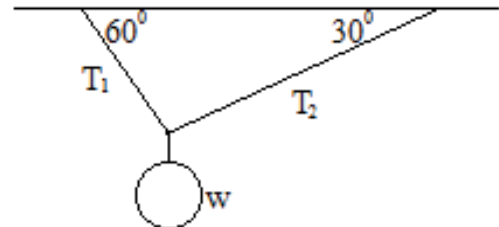
Latihan 3

Petunjuk: Selesaikan soal-soal latihan berikut ini secara mandiri untuk menambah pengetahuan dan meningkatkan keterampilan Anda dalam memecahkan masalah terkait dengan kesetimbangan benda tegar.

1. Anda melihat sebuah benda digantung dengan posisi seperti gambar berikut

Jika benda yang digantung massanya 20 kg percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$, berapakah kekuatan tali untuk menahan berat beban yang digantung.

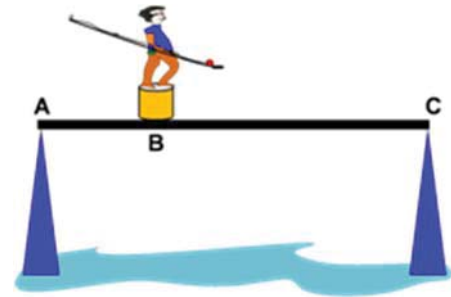
Jawab : $[100\sqrt{3} \text{ N dan } 100 \text{ N}]$



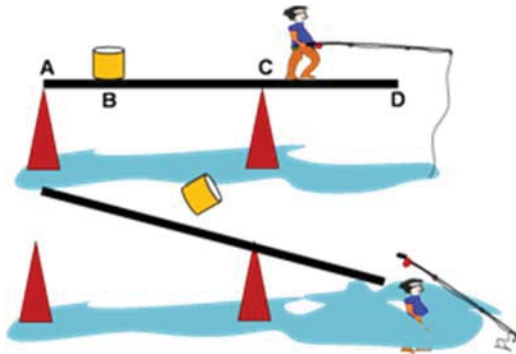
2. Seorang anak bermassa 50 kg berdiri di atas tong 50 kg yang berada pada sebuah papan kayu panjang 4 m, bermassa 200 kg dan bertumpu pada tonggak A dan C. Jika jarak anak dari titik A adalah 1 meter dan tentukan : ($g = 10 \text{ m.s}^{-2}$)

- a) Gaya yang dialami tonggak A
- b) Gaya yang dialami tonggak C

Jawab : $[1750 \text{ N dan } 1250 \text{ N}]$



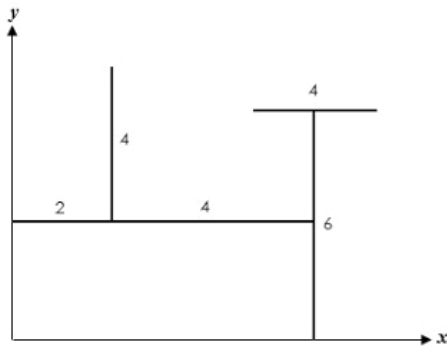
3. Seorang anak bermassa 100 kg berada diatas jembatan papan kayu bermassa 100 kg yang diletakkan di atas dua tonggak A dan C tanpa dipaku. Sebuah tong berisi air bermassa total 50 kg diletakkan di titik B.



Jika jarak $AB = 2 \text{ m}$, $BC = 3 \text{ m}$ dan $AD = 8 \text{ m}$, berapa jarak terjauh anak dapat melangkah dari titik C agar papan kayu tidak terbalik?

Jawab: $[x = 2,5 \text{ m}]$

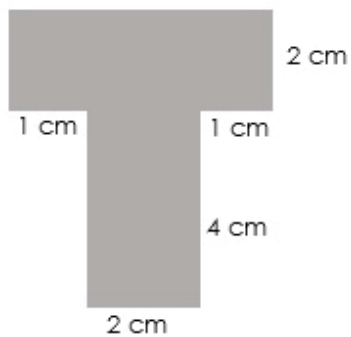
4. Seorang membuat susunan balok seperti gambar berikut!



Tentukan koordinat titik beratnya terhadap x dan y?

Jawab: $[x_0 (4,3 ; 4)]$

5. Sebuah bidang berbentuk huruf T seperti gambar berikut



Anda akan menempelkan bidang berbentuk huruf T ini ke dinding dengan menggunakan 1 buah paku. Tentukan posisi paku pada bidang tersebut agar ditempelkan dalam posisi seimbang.

Jawab: $[2; 3,5]$

Unit 4

Mahir Meneliti

Pada Unit 4 ini, Anda akan melakukan penelitian sederhana untuk menentukan letak titik berat benda yang bentuknya tidak beraturan. Bentuk benda tegar yang tidak beraturan sangat umum dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Benda-benda yang bentuknya tidak beraturan ini juga memiliki pusat massa dan titik berat, karena itu menarik untuk dapat diketahui. Ketika hendak membuat susunan benda-benda dari yang paling sederhana sampai yang sangat indah seperti batu bertumpuk sangat diperlukan untuk diketahui letak pusat massa dan titik beratnya. Untuk benda-benda yang bentuknya beraturan telah diketahui letak titik beratnya yang diperlihatkan pada tabel 1.

Pada kegiatan ini Anda akan melakukan kegiatan menentukan letak titik berat benda yang bentuknya tidak beraturan.

Untuk melakukan kegiatan ini Anda sudah menyiapkan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Benang jahit Panjang 1,5 m
2. Gunting minimal berukuran sedang yang tajam untuk menggunting karton
3. Karton polos tebal berukuran 50 cm x 50 cm, seperti kardus untuk menyimpan air mineral atau sejenisnya.
4. Pinsil atau ballpoint
5. Kertas grafik
6. Jarum pentul
7. Statif (penumpu)
8. Penggaris
9. Neraca atau timbangan
10. Isolasi transparan

Kegiatan Percobaan:

1. Buatlah sebuah bentuk benda tidak beraturan pada karton dengan ukuran yang cukup besar
2. Timbang massa karton tersebut dengan neraca atau timbangan
3. Tentukan tiga titik yang saling berjauhan pada tepi karton yang sudah Anda bentuk tidak beraturan.
4. Buatlah lubang dengan jarum pentul pada ketiga titik tersebut sedemikian hingga karton cukup bebas bergerak
5. Ikat pemberat dengan benang
6. Jepit jarum pada statif dengan posisi jarum horizontal
7. Masukkan karton pada titik pertama kemudian putar untuk memastikan bahwa karton cukup bebas bergerak
8. Gantungkan beban pada jarum dan atur agar benang menempel vertikal pada karton

9. Buat dua titik pada karton di atas dan di bawah tepat di mana benang menempel pada karton dan beri label misalnya A_1 dan A_2
10. Masukkan karton pada titik kedua kemudian putar untuk memastikan bahwa karton cukup bebas bergerak
11. Gantungkan beban pada jarum dan atur agar benang menempel vertikal pada karton
12. Buat dua titik pada karton di atas dan di bawah tepat di mana benang menempel pada karton dan beri label misalnya B_1 dan B_2
13. Masukkan karton pada titik ketiga kemudian putar untuk memastikan bahwa karton cukup bebas bergerak
14. Gantungkan beban pada jarum dan atur agar benang menempel vertikal pada karton
15. Buat dua titik pada karton di atas dan di bawah tepat di mana benang menempel pada karton dan beri label misalnya C_1 dan C_2
16. Lepaskan karton dari jarum kemudian buatlah garis melalui: A_1 dan A_2 , B_1 dan B_2 , C_1 dan C_2
17. Anda akan menemukan bahwa ketiga garis tersebut berpotongan di satu titik, beri label P
18. Selanjutnya gunting karton tersebut pada salah satu ugaris: A_1 dan A_2 , B_1 dan B_2 , C_1 atau C_2
19. Ulangi kegiatan 2 s.d. 17 pada kedua potongan karton tersebut sehingga Anda menemukan titik potong garis pada masing-masing potongan karton dan beri label P_1 dan P_2
20. Satukan potongan karton 1 dan 2 menggunakan isolasi transparan dan lakukan dengan teliti agar karton membentuk benda seperti semula.
21. Tempelkan karton yang telah disatukan kembali pada kertas grafik
22. Buatlah sistem koordinat (x,y) pada kertas grafik
23. Catat data-data hasil percobaan Anda pada table berikut ini

No.	Benda Tegar	Massa	Absis (x)	Oordinat (y)
1	Karton ke-0			
2	Karton ke-1			
3	Karton ke-2			

24. Buatlah pengolahan data tersebut untuk menemukan koordinat benda tegar yang Anda Buat.

Laporan Percobaan:

Anda akan mengikuti susunan laporan berikut ini untuk membuat laporan percobaan

1. Judul Percobaan
2. Tujuan Percobaan
3. Kompetensi yang hendak dicapai (sesuaikan dengan silabus fisika kelas XI)
4. Landasan Teori (siangkat)
5. Alat dan Bahan yang Diperlukan
6. Langkah-langkah percobaan

7. Data Hasil Percobaan
8. Pengolahan Data Hasil Percobaan
9. Analisis Hasil Pengolahan Data Percobaan
10. Kesimpulan
11. Saran
12. Anggota Kelompok

Petunjuk Penilaian

1. Penilaian Proyek

Berikut ini adalah contoh format penilaian proyek yang disarankan kepada tutor. Namun contoh berikut ini hanya saran kepada Tutor. Tutor dapat mendisaian sendiri format penilaiannya berdasarkan karakteristik warga binaannya.

Contoh Penilaian Proyek dan Produk

Lembar Penilaian Laporan Kelompok

Kelompok :
 Kelas :
 Tugas :
 Tanggal :

Judul : ...

No	Penilaian	Kriteria yang diukur	Tingkat Kemampuan		
			1	2	3
1.	Tahap Persiapan	- Ketelitian dalam mempersiapkan alat-alat - Terampil dalam membuat perencanaan - Kreatif dalam mengembangkan ide			
2.	Tahap Produksi	- Jeli dan terampil dalam memilih dan menggunakan bahan peralatan - Terampil dalam teknik kerja			
3.	Tahap Akhir	- Produk yang dihasilkan mempunyai estetika tinggi (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, kerapian produk) - Terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya			
4.	Kerjasama	- Kekompakan anggota kelompok - Pembagian tugas secara merata			
Total					
$Nilai = \frac{Skor\ Perolehan}{Skor\ Maksimum} \times 100$					

Rubrik Penilaian:**Tahap Persiapan**

Skor	Deskripsi
3	Teliti dalam mempersiapkan alat-alat, terampil dalam membuat perencanaan, kreatif dalam mengembangkan ide
2	Teliti dalam mempersiapkan alat-alat, terampil dalam membuat perencanaan, tidak kreatif dalam mengembangkan ide
1	Teliti dalam mempersiapkan alat-alat, tidak terampil dalam membuat perencanaan, tidak kreatif dalam mengembangkan ide

Tahap Pelaksanaan

Skor	Deskripsi
3	Terampil dalam memilih dan menggunakan bahan peralatan, terampil dalam teknik kerja
2	Terampil dalam memilih dan menggunakan bahan peralatan, tidak terampil dalam teknik kerja
1	Cukup terampil dalam memilih dan menggunakan bahan peralatan, tidak terampil dalam teknik kerja

Tahap Pelaporan

Skor	Deskripsi
3	Produk yang dihasilkan mempunyai estetika tinggi (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, kerapian produk), terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya
2	Produk yang dihasilkan mempunyai estetika tinggi (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, kerapian produk), tidak terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya
1	Produk yang dihasilkan mempunyai estetika (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, tidak mempunyai kerapian produk), tidak terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya

Tahap Pelaporan

Skor	Deskripsi
3	Produk yang dihasilkan mempunyai estetika tinggi (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, kerapian produk), terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya
2	Produk yang dihasilkan mempunyai estetika tinggi (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, kerapian produk), tidak terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya
1	Produk yang dihasilkan mempunyai estetika (perpaduan warna, keserasian dalam penempatan objek, tidak mempunyai kerapian produk), tidak terampil dalam mengevaluasi hasil kerjanya

Tahap Pelaporan

Skor	Deskripsi
3	Anggota kelompok mempunyai kekompakan dalam bekerjasama, pembagian tugas dilakukan secara merata
2	Anggota kelompok mempunyai kekompakan dalam bekerjasama, pembagian tugas tidak dilakukan secara merata
1	Anggota kelompok tidak mempunyai kekompakan dalam bekerjasama, pembagian tugas tidak dilakukan secara merata

Katagorisasi Nilai Yang Diperoleh

Nilai (Interval)	Predikat	Kualifikasi
80 – 100	A	Baik Sekali
70 – 79	B	Baik
60 – 69	C	Cukup
< 60	D	Kurang

2. Penilaian Laporan

Lembar Penilaian Laporan Percobaan

Kelompok :
Kelas :
Tugas :
Tanggal :
Judul :

No.	Aspek yang dinilai	Skor Yang Diperoleh			
		1	2	3	4
1.	Sistematika laporan				
2.	Kelengkapan laporan				
3.	Kejelasan dan keruntutan penulisan				
4.	Kebenaran konsep ide yang dipaparkan				
5.	Ketepatan pemilihan kosakata				
6.	Kemampuan siswa menjelaskan isi laporan				
7.	Usaha siswa dalam menyusun laporan				
8.	Presentasi				
	Jumlah Skor				
Total Skor					
Nilai = $\frac{\text{Skor Perolehan}}{\text{Skor Maksimum}} \times 100 = \dots ..$					

Saran Tutor:

.....
.....
.....

.....,

Tutor,

RUBRIK PENILAIAN LAPORAN KELOMPOK

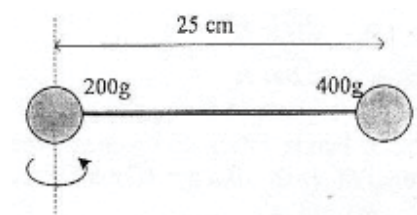
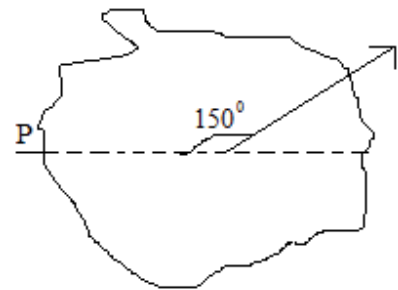
No.	Aspek	skor	Deskripsi
1.	Sistematika Laporan	4	laporan dibuat sesuai sistematika penulisan, jelas dan benar
		3	laporan dibuat dengan benar tetapi kurang jelas
		2	laporan dibuat kurang benar dan kurang jelas
		1	laporan dibuat dengan sistematika yang salah
2.	Kelengkapan laporan	4	laporan dibuat secara lengkap sesuai petunjuk pembuatan laporan
		3	laporan dibuat tanpa kesimpulan
		2	laporan dibuat tanpa diskusi, kesimpulan, daftar pustaka
		1	laporan dibuat tidak lengkap (mencakup 3 unsur saja)
3.	Kejelasan Laporan	4	laporan jelas, dapat dipahami, ditulis secara runtut
		3	laporan jelas, tetapi penulisan kurang runtut
		2	laporan kurang jelas, kurang sesuai dengan keruntutan penulisan
		1	laporan tidak jelas, tidak sesuai dengan keruntutan penulisan
4.	Kebenaran Konsep	4	konsep/ide yang dipaparkan tepat, benar, dan sesuai dengan teori
		3	konsep/ide yang dipaparkan sesuai dengan teori tetapi kurang jelas
		2	konsep/ide yang dipaparkan kurang tepat
		1	konsep/ide yang dipaparkan tidak tepat
5.	Ketepatan pemilihan kosakata	4	menggunakan kata-kata yang tepat, menggunakan kalimat aktif
		3	menggunakan kata-kata yang kurang tepat, menggunakan kalimat aktif
		2	menggunakan kata-kata yang kurang tepat, tidak menggunakan kalimat aktif
		1	menggunakan kosakata yang salah
6.	Kemampuan siswa menjelaskan isi laporan	4	menguasai latar belakang, metode, diskusi, kesimpulan
		3	menguasai latar belakang, metode, dan diskusi
		2	menguasai latar belakang dan metode
		1	menguasai latar belakang saja
7.	Usaha siswa dalam menyusun laporan	4	berusaha melengkapi isi laporan dengan sungguh-sungguh, berusaha memperbaiki isi, tulisan rapi, mudah dibaca.
		3	sesuai aspek yang tercantum pada nomor 1, kecuali ada 1 aspek yang tidak dilakukan
		2	sesuai aspek yang tercantum pada nomor 1, kecuali ada 2 aspek yang tidak dilakukan
		1	tidak berusaha melengkapi dan memperbaiki isi laporan.
8.	Presentasi laporan percobaan	4	semua anggota kelompok aktif dan berusaha menjawab pertanyaan dengan benar.
		3	semua anggota kelompok aktif akan tetapi kurang berusaha menjawab pertanyaan dengan benar.
		2	beberapa anggota saja yang aktif (dominasi) namun ada usaha untuk menjawab pertanyaan dengan benar.

		1	beberapa anggota saja yang aktif (dominasi) namun kurang berusaha untuk menjawab pertanyaan dengan benar.
--	--	---	---

Rangkuman

TES FORMATIF

- Donna harus membuka sendiri ban mobilnya yang kempes. Donna menggunakan kunci roda L tetapi tenaganya tidak cukup untuk memutar baut ban mobil tersebut. Donna menggunakan pipa besi yang tersedia di mobilnya untuk menyambung tangkai kunci roda tersebut sehingga lebih panjang. Dengan tenaga yang sama Donna dapat membuka semua baut di ban mobilnya. Tindakan Donna menyambung kunci roda L dengan pipa besi adalah....
A. memperbesar momen gaya
 B. memperbesar gaya
 C. menambah energi
 D. menambah daya
 E. memperbesar jarak
- Jika resultan gaya yang bekerja terhadap sebuah titik A pada sebuah benda dan berada pada jarak r tidak nol, maka benda akan....
 A. berotasi terhadap pusat massa benda itu
B. berotasi terhadap titik A
 C. bergerak lurus beraturan
 D. bergerak translasi
 E. berotasi dengan laju tetap
- Pada sebuah benda tidak beraturan bentuknya bekerja gaya 8 N seperti tampak pada gambar. Besar momen gaya terhadap titik P adalah ...
 A. 1,00 Nm
 B. 0,98 Nm
C. 0,96 Nm
 D. 0,94 Nm
 E. 0,99 Nm
- Dua buah bola besi yang dihubungkan dengan kawat (massa kawat diabaikan) disusun seperti gambar di samping. Besar momen inersianya adalah...
 A. $20 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$
B. $25 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$
 C. $11 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$
 D. $55 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$
 E. $80 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$



5. Besar momen inersia bergantung pada

- 1) Massa benda
- 2) Berat benda
- 3) Jarak terhadap sumbu putar
- 4) Gaya normal benda

Pernyataan yang benar ialah

A. 1 dan 3 saja

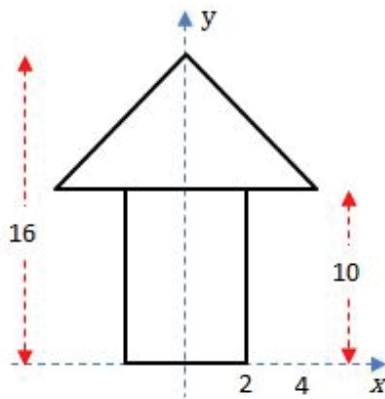
B. 2 dan 4 saja

C. 3 dan 4 saja

D. 1 dan 2 saja

E. 1 dan 4 saja

6. Perhatikan gambar berikut!



Letak titik berat sistem benda pada gambar di samping ini adalah

A. 7,6 cm terhadap x

B. 7,6 cm terhadap y

C. 6 cm terhadap x

D. 6 cm terhadap y

E. 10 cm terhadap y

7. Sebuah batang AB yang massanya 1 kg, dipengaruhi tiga buah gaya $F_A = F_C = 10 \text{ N}$ dan $F_B = 20 \text{ N}$ seperti gambar. Jika jarak $AB = BC = 20 \text{ cm}$. Apakah yang terjadi pada batang AB....

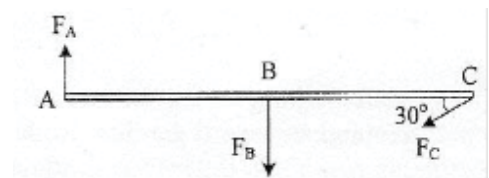
A. bergerak searah jarum jam

B. bergerak berlawanan arah jarum jam

C. bergerak ke arah F_B

D. bergerak ke arah F_C

E. tidak bergerak



8. Bola pejal bermassa 10 kg mula-mula diam kemudian dilepaskan dari ujung sebuah bidang miring dan mulai bergerak translasi rotasi seperti gambar. Jari-jari bola adalah 1 meter, dan ketinggian $h = 28 \text{ m}$. Kecepatan bola saat tiba ujung bawah bidang miring adalah

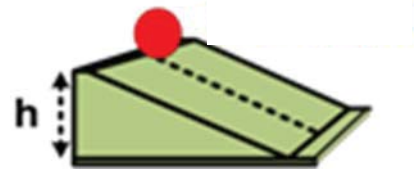
A. 20 m.s^{-1}

B. 14 m.s^{-1}

C. 10 m.s^{-1}

D. 6 m.s^{-1}

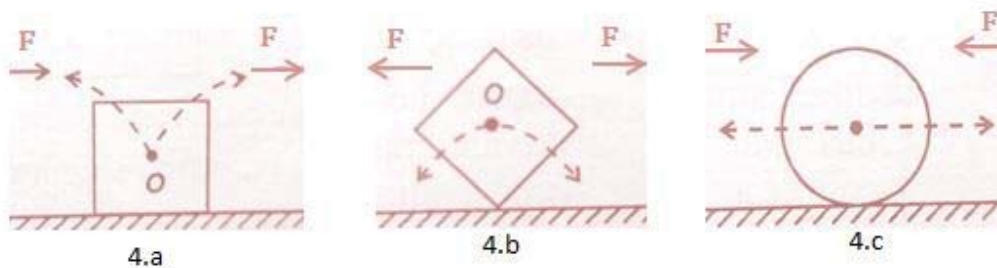
E. 2 m.s^{-1}



9. Seorang penari es dengan tangan terlentang berputar dengan kecepatan sudut 40 rad/s di atas lantai licin yang datar. Jika penari es tersebut melipat tangannya kecepatan sudutnya berubah menjadi 60 rad/s . Tentukan perbandingan momen inersia penari es saat tangan terlentang dan pada saat tangan terlipat.

A. 3,5
B. 3,0
C. 2,5
D. 2,0
E. 1,5

10. Perhatikan gambar berikut!



Gambar yang menunjukkan kesetimbangan stabil adalah....

A. 4.b
B. 4.c
C. 4.a
D. 4.a dan 4.c
E. 4.b dan 4c

11. Seorang penari balet berputar 3 putaran/sekon dengan kedua tangannya direntangkan. Pada saat itu momen inersia penari 8 kg m^2 . Kemudian lengannya dirapatkan sehingga momen inersianya menjadi 2 kg m^2 . Frekuensi putaran sekarang menjadi.....

A. 48 putaran/sekon
B. 24 putaran/sekon
C. 16 putaran/sekon
D. 12 putaran/sekon
E. 10 putaran/sekon

12. Sebuah bola pejal yang massanya 20 kg dan jari-jari 20 cm . Pada tepi bola bekerja gaya 50 N sehingga benda berputar pada sumbunya. Percepatan sudut yang dialami bola pejal tersebut adalah

A. $20,05 \text{ rad/s}^2$
B. $26,00 \text{ rad/s}^2$
C. $31,25 \text{ rad/s}^2$

- D. $36,00 \text{ rad/s}^{-2}$
- E. $40, 50 \text{ rad/s}^{-2}$

13. Fenomena batu bertumpuk yang tampak indah dan luarbiasa ini dapat terjadi karena prinsip fisika dipenuhi di mana gaya-gaya luar yang bekerja pada sistem batu bertumpuk, yaitu...

- A. $\sum F > \sum \tau$.
- B. $\sum F = 0 \text{ N}$ dan $\sum \tau = \text{konstan}$
- C. $\sum F = \text{konstan}$ dan $\sum \tau = 0 \text{ N}$
- D. $\sum F = \sum \tau = \text{konstan}$
- E. $\sum F = 0 \text{ N}$ dan $\sum \tau = 0 \text{ N}$

14. Dua buah roda yang seporos. Roda yang kecil memiliki 16 buah gigi dan roda yang besar memiliki 22 gigi. Jika kecepatan linier roda yang kecil adalah 48 m/s . Maka kecepatan linier dari roda yang besar adalah

- A. 11 m.s^{-1}
- B. 25 m.s^{-1}
- C. 33 m.s^{-1}
- D. 45 m.s^{-1}
- E. 66 m.s^{-1}

15. Untuk menentukan letak titik berat potongan karton yang bentuknya tidak beraturan dapat dilakukan dengan...

- 1) mengambil 3 buah titik yang berbeda pada karton
- 2) menggantung beban dengan benang melalui ke-3 titik
- 3) membuat garis berat dari ke-3 titik berimpit dengan benang untuk menggantung benang
- 4) menarik garis yang menghubungkan ke-3 titik
- 5) menemukan letak titik berat benda dari perpotongan garis-garis berat

Pernyataan yang benar

- A. 1 dan 3 saja
- B. 2 dan 4 saja
- C. 1, 3, dan 5 saja
- D. 1, 2, 3, dan 5 saja
- E. 1, 2, 3, dan 4 saja

Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif. Anda dapat meminta kunci jawaban kepada Tutor untuk memeriksa jawaban Anda. Kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul ini.

Rumus untuk menghitung tingkat penguasaan Anda sebagai berikut:

$$TP = \frac{BJB}{JS} \times 100 \% = \quad \%$$

TP = Tingkat Penguasaan

BJB = Banyaknya jawaban benar

JS = Jumlah soal

Kategori Tingkat Penguasaan

Nilai Tercapai	Predikat	Kualifikasi
100	A+	Istimewa
90 – 99	A	Baik Sekali
80 – 89	B	Baik
70 – 79	C	Cukup
< 70	D	Kurang

Testimoni

Tingkat Pencapaian saya pada modul ini adalah

Kriteria Pindah Modul

Jika Tingkat Penguasaan Anda minimal C (Cukup) atau mencapai angka 70, Anda dianggap cukup menguasai materi pada Modul 6 ini, dan dipersilahkan maju ke Modul 7 dengan judul “Aku Benda Elastis”.

Jika Tingkat Penguasaan kurang dari 70, Anda harus mempelajari kembali materi yang belum berhasil dikuasai dengan baik. Setelah Anda menguasai materi tersebut Anda dapat melanjutkan ke Modul Berikutnya. Sehubungan dengan materi yang harus diulangi Anda harus berkonsultasi kepada Tutor untuk membicarakan teknis pelaksanaan remedialnya. Tentang strategi dan teknis remedial yang akan dilakukan, sepenuhnya merupakan kewenangan Tutor.

Kami menunggu Anda di Modul 7 dengan pokok bahasan yang tidak kalah menarik, yang berjudul “Aku benda Elastis”.

Terimakasih untuk upaya Anda mempelajari dan menguasai modul 6

Salam Majawa (Man Jadda Wajada).

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

1. A. memperbesar momen gaya
2. B. berotasi terhadap titik A
3. C. 0,96 Nm
4. B. $25 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$
5. A. 1 dan 3 saja
6. A. 7,6 cm terhadap X
7. B. bergerak berlawanan arah jarum jam
8. A. 20 m.s^{-1}
9. E. 1,5
10. C. 4.a
11. D. 12 putaran/sekon
12. C. $31,25 \text{ rad/s}^2$
13. E. $\sum F = 0 \text{ N}$ dan $\sum \tau = 0 \text{ N}$
14. D. 66 m.s^{-1}
15. D. 1, 2, 3, dan 5 saja

SARAN REFERENSI

Kanginan, Marthen, 2017, Fisika Untuk Kelas XI, Jakarta: Penerbit Erlangga

<https://www.youtube.com/watch?v=mwDZA2evSpM>

<https://www.youtube.com/watch?v=MUvxDuSp8DM>

DAFTAR PUSTAKA

- Young, Hugh D. & Freedman, Roger A., 2002, *Fisika Universitas (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Sarojo, Garnijanti Aby, 2002, *Seri Fisika Dasar Mekanika*, Jakarta: Penerbit Salemba Teknik.
- Giancoli, Douglas C., 2001, *Fisika Jilid I (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Tipler, P.A., 1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan)*, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Surya, Yohanes, M.Sc., P.Hd., 1996, *Olimpiade Fisika, Teori dan Latihan Fisika Menghadapi Masa Depan*, Jakarta: Penerbit P.T. Prmatika Cipta Ilmu
- Halliday dan Resnick, 1991, *Fisika Jilid I, Terjemahan*, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Abdullah, Mikrajuddin, 2006, *Fisika SMA dan MA Untuk kelas XI Semester 1 & 2*, Jakarta: Penerbit Esis
- <http://ayosemangatnugas.blogspot.com/2017/10/contoh-soal-dan-pembahasan-dinamika.html>
- <https://www.zenius.net/c/2273/dinamika-rotasi-teori>
- <https://www.youtube.com/watch?v=oTSSNPchBwA>
- <https://www.youtube.com/watch?v=C0yfukVBku4>

PROFIL PENULIS

Nama Lengkap : Sanserlis F. Toweula
HP : 081314066855
E-Mail : sanserlis@gmail.com
Alamat Rumah : Cibubur Country, The Royal II Nomor 22
Jalan Letda Nasir, Cikeas Udik
Gunung Putri, Bogor Jawa Barat (16966)



Bidang Studi : Fisika

Riwayat Pekerjaan/Profesi dalam 10 Tahun Terakhir

1. Guru SMA Negeri 30 Jakarta (1987 - 2013)
2. Pengawas Sekolah SMA Jakarta Pusat (2014 - sekarang)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 Jurusan Fisika, IKIP Negeri Jakarta (lulus tahun 1984)
5. S2 Jurusan Fisika Murni dan Terapan, Universitas Indonesia (lulus tahun 2006)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir)

- Fokus Ujian Nasional SMA, Erlangga, 2010, 2011, 2012, 2013,
- Simulasi Ujian Nasional SMA, Erlangga, 2010. 2011, 2012, 2013
- Teori Relativitas Khusus (Modul e_learning), 2008
- Dualisme Gelombang dan Partikel, (Modul e_learning), 2008

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir)

- Metode MADA (Mapping, Analysis, Directing, Assessment), 2012
- Meningkatkan Hasil Ujian Nasional Sekolah Binaan dengan Metode MADA, 2016

