



KELAS 11

FISIKA

Menyibak Rahasia Gerakan dan Energi Alam:
Buku Pegangan Fisika untuk Siswa Kelas 11

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas terbitnya e-book Fisika ini yang merupakan bagian dari upaya menghadirkan pembelajaran yang lebih mudah diakses oleh seluruh pelajar Indonesia. Fisika adalah mata pelajaran yang mempelajari gejala alam dan prinsip-prinsip dasar yang mengatur alam semesta, mulai dari gerak, gaya, energi, hingga fenomena kelistrikan dan optik, yang bermanfaat untuk memahami kehidupan sehari-hari maupun perkembangan teknologi.

E-book ini disusun berdasarkan Capaian Pembelajaran Fisika Fase E (sesuai dengan Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 Tentang Capaian Pembelajaran Pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah Pada Kurikulum Merdeka). Konten e-book ini dirancang agar memahami materi Fisika secara komprehensif, mengasah keterampilan berpikir kritis, serta menerapkannya dalam kehidupan sehari-hari. Selain materi utama, e-book ini juga dilengkapi dengan latihan soal, pembahasan, serta tautan ke sumber belajar tambahan seperti video pembelajaran interaktif.

E-book ini merupakan bagian dari platform [Fitri](#), sebuah platform pembelajaran digital yang menyediakan akses gratis ke berbagai materi belajar, termasuk e-book, latihan soal, dan video pembelajaran interaktif untuk seluruh anak Indonesia. Fitri hadir sebagai wujud kontribusi nyata dalam mendukung pemerataan akses pendidikan berkualitas di Indonesia. Dengan semangat gotong royong dan inklusi, Fitri berkomitmen untuk membantu seluruh siswa, di mana pun berada, agar dapat belajar secara mandiri, efektif, dan menyenangkan. Hal ini selaras dengan tujuan besar pendidikan Indonesia, yaitu mewujudkan generasi yang cerdas, berkarakter, dan siap menghadapi tantangan zaman.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung tersedianya e-book ini. Semoga kehadiran e-book Fisika ini dapat memberikan manfaat nyata dalam proses belajar peserta didik dan turut berkontribusi dalam meningkatkan literasi bangsa.

Jakarta, September 2025

Tim Fitri

Daftar Isi

BAB 1: VEKTOR	6
1. Besaran Skalar dan Vektor: Duel Kekuatan Fisika.....	8
2. Menggambarkan Vektor: Seni Menangkap Kekuatan Arah	9
3. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor: Kolaborasi Kekuatan Hebat.....	11
4. Komponen Vektor: Membongkar Rahasia Arah Tersembunyi	14
5. Perkalian Vektor: Menjelajahi Dimensi Baru	16
6. Vektor Satuan: Kompas Ajaib Fisika	19
Rangkuman.....	21
Latihan Soal	22
Referensi	24
BAB 2: KINEMATIKA GERAK	25
1. Konsep Gerak	27
2. Gerak Lurus Beraturan	30
3. Gerak Lurus Berubah Beraturan	32
4. Gerak Jatuh Bebas.....	34
5. Gerak Parabola.....	38
6. Gerak Melingkar Beraturan.....	47
Rangkuman.....	55
Latihan Soal	57
Referensi	59
BAB 3: DINAMIKA GERAK	60
1. Hubungan Gaya dan Gerak Benda.....	62
2. Peranan Gaya Gesek dalam Menentukan Gerakan Suatu Benda	66
3. Penerapan Hukum Newton dalam Berbagai Situasi Gerak	68
4. Newton tentang Gravitasi.....	83
5. Medan Gravitasi dan Percepatan Gravitasi.....	87
6. Kecepatan Orbit Sebuah Satelit	89
7. Hukum Kepler III	90
Rangkuman.....	91
Latihan Soal	93
Referensi	95
BAB 4: DINAMIKA USAHA DAN ENERGI.....	96
1. Usaha.....	98

2. Energi	101
3. Keterkaitan antara Usaha dan Energi.....	104
4. Prisip Kekekalan Energi dalam Gerak Mekanik.....	107
5. Mengupas Konsep Daya dalam Fisika	110
Rangkuman.....	113
Latihan Soal	114
Referensi	116
BAB 5: MOMENTUM DAN IMPULS: RAHASIA GERAK DAN TABARAKAN	117
1. Dasar Teori Momentum dan Impuls.....	119
2. Keterkaitan Antara Impuls dan Perubahan Momentum	122
3. Menjaga Momentum: Prinsip Kekekalan dalam Interaksi Benda	125
4. Ketika Benda Bertemu: Mengungkap Jenis dan Sifat Tumbukan	129
Rangkuman.....	135
Latihan Soal	136
Referensi	138
BAB 6: ROTASI DAN KESETIMBANGAN PADA BENDA TEGAR	140
1. Momen Gaya dan Momen Inersia	142
2. Momentum Sudut dan Hukum Kekekalan Momentum Sudut	145
3. Gerak Menggelinding dan Energi Kinetik Benda Tegar.....	148
4. Titik Berat dan Titik Massa.....	151
5. Kesetimbangan Benda Tegar.....	152
Rangkuman.....	154
Latihan Soal	156
Referensi	158
BAB 7: KONSEP FLUIDA STATIK DAN FLUIDA DINAMIK	159
1. Konsep Fluida Statik	161
2. Konsep Fluida Dinamik	171
Rangkuman.....	175
Latihan Soal	177
Referensi	179
BAB 8: GERAK DALAM GETARAN HARMONIK	180
1. Sifat Getaran Harmonik	182
2. Model Getaran Harmonik	184
3. Prinsip Kekekalan Energi Mekanik pada Getaran Harmonik.....	186

4. Konsep Elastisitas	188
5. Hukum Hooke (Gaya Pegas)	190
6. Jenis Susunan Pegas	192
Rangkuman.....	194
Latihan Soal	196
Referensi	198
BAB 9: GERAK DALAM GETARAN HARMONIK	199
1. Konsep Gelombang	201
2. Gelombang Bunyi	211
3. Gelombang Cahaya.....	219
Rangkuman.....	225
Latihan Soal	227
Referensi	229
BAB 10: ENERGI PANAS DAN TERMODINAMIKA	230
1. Konsep Kalor dan Perubahan Wujud Zat	232
2. Perpindahan Kalor.....	236
3. Usaha Luar dan Kapasitas Kalor	240
4. Hukum I Termodinamika	243
5. Mesin Carnot.....	246
6. Hukum II Termodinamika	249
7. Entropi.....	252
Rangkuman.....	254
Latihan Soal	256
Referensi	258



BAB 1: VEKTOR

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong, Bernalar kritis, Kreatif, Komunikatif

• **Kata Kunci:** Operasi vektor, Produk titik, Produk silang, Komponen, Vektor satuan, Metode poligon, Metode segitiga, Resultan, Notasi ilmiah, Visualisasi data.

Tujuan Pembelajaran Pemahaman dan Analisis Operasi Vektor

1. Memahami dan Menguasai Operasi Hitung Vektor

- ▷ Mampu mengidentifikasi operasi hitung vektor dasar, seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian skalar, dan perkalian vektor (produk titik dan produk silang).
- ▷ Mampu menerapkan operasi hitung vektor pada berbagai konteks fisika, seperti resultan gaya, perpindahan, dan momentum.
- ▷ Mampu memilih metode operasi hitung vektor yang tepat berdasarkan situasi dan kondisi.

2. Menganalisis dan Mengolah Vektor

- ▷ Mampu mengidentifikasi komponen-komponen vektor (komponen horizontal dan vertikal) dengan benar.
- ▷ Mampu memahami dan menggunakan vektor satuan untuk mewakili arah vektor.

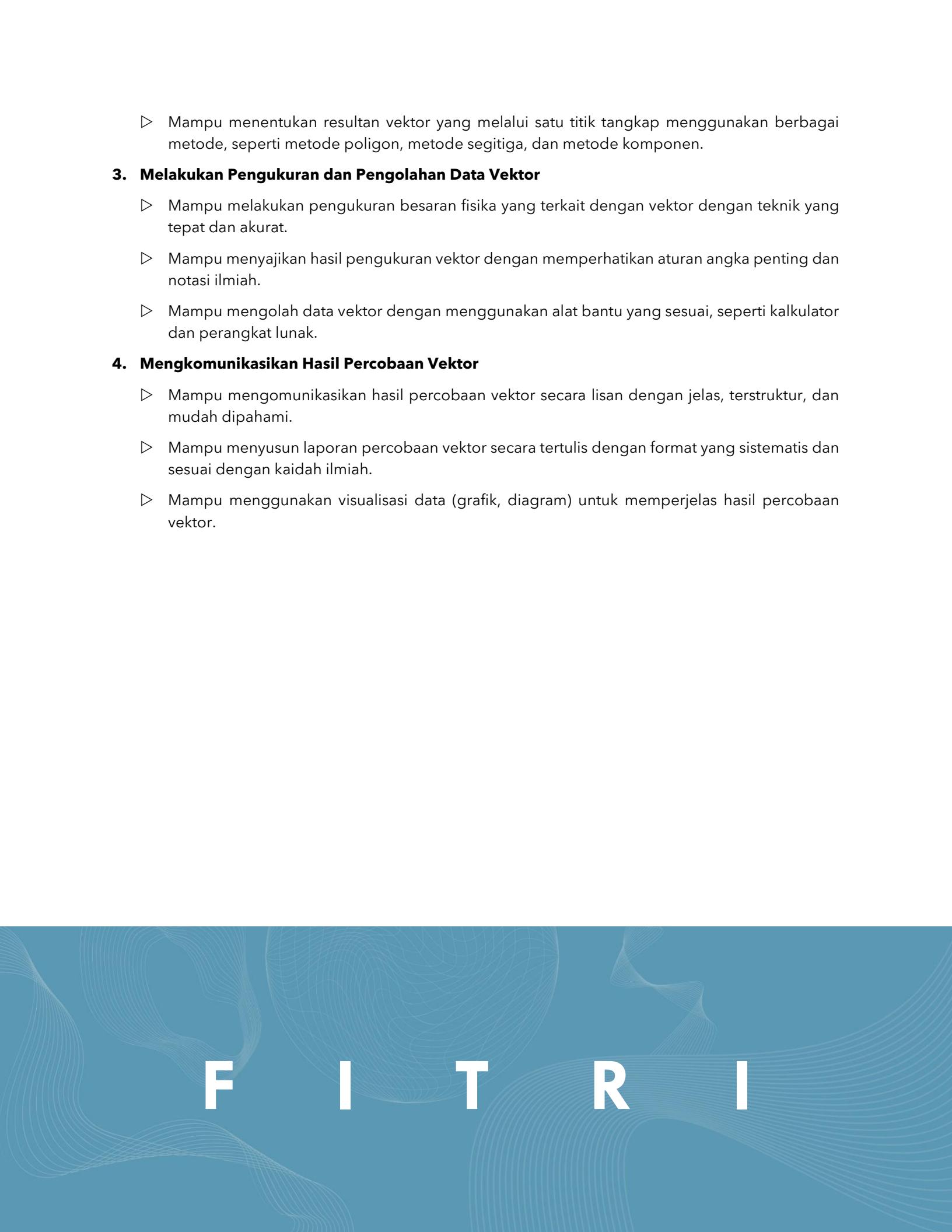
- ▷ Mampu menentukan resultan vektor yang melalui satu titik tangkap menggunakan berbagai metode, seperti metode poligon, metode segitiga, dan metode komponen.

3. Melakukan Pengukuran dan Pengolahan Data Vektor

- ▷ Mampu melakukan pengukuran besaran fisika yang terkait dengan vektor dengan teknik yang tepat dan akurat.
- ▷ Mampu menyajikan hasil pengukuran vektor dengan memperhatikan aturan angka penting dan notasi ilmiah.
- ▷ Mampu mengolah data vektor dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, seperti kalkulator dan perangkat lunak.

4. Mengkomunikasikan Hasil Percobaan Vektor

- ▷ Mampu mengomunikasikan hasil percobaan vektor secara lisan dengan jelas, terstruktur, dan mudah dipahami.
- ▷ Mampu menyusun laporan percobaan vektor secara tertulis dengan format yang sistematis dan sesuai dengan kaidah ilmiah.
- ▷ Mampu menggunakan visualisasi data (grafik, diagram) untuk memperjelas hasil percobaan vektor.



F I T R I



1. Besaran Skalar dan Vektor: Duel Kekuatan Fisika

Dalam fisika, penting untuk membedakan antara dua jenis besaran yaitu skalar dan vektor. Kedua jenis besaran ini memiliki karakteristik yang berbeda dalam menjelaskan berbagai fenomena dalam fisika.

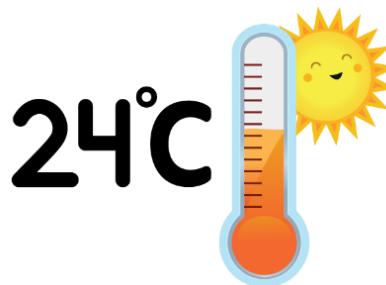
Apa itu Besaran Skalar dan Vektor?

- Besaran Skalar:** Besaran skalar adalah besaran yang memiliki nilai dan satuan tetapi tidak memiliki arah. Contoh dari besaran skalar antara lain massa, energi, suhu, dan waktu.
- Besaran Vektor:** Besaran vektor adalah besaran yang memiliki nilai, satuan, dan arah. Contoh dari besaran vektor adalah kecepatan, percepatan, gaya, dan momentum.

Bagaimana Perbedaan Besaran Skalar dan Vektor?

Saat menggunakan skalar, kita hanya perlu satu angka untuk menjelaskan jumlah atau ukuran, sedangkan vektor menyediakan informasi lebih lanjut yang diperlukan untuk menggambarkan arah dan magnitudo. Arah ini penting karena menentukan bagaimana besaran tersebut berinteraksi dalam sistem fisika.

- Besaran Skalar:** Bayangkan kamu sedang merencanakan piknik dengan temanmu. Kamu ingin tahu apakah cuacanya akan cukup hangat untuk kegiatan di luar. Kamu mengecek aplikasi cuaca di ponselmu dan melihat bahwa suhu di taman tempat kamu akan piknik adalah 24°C. Informasi ini membantu untuk mengetahui tingkat kehangatan udara dan menyesuaikan tipe baju yang akan dipakai jika ingin keluar rumah. Jadi yang dibutuhkan hanya angka atau nilai suhu tersebut dan tidak perlu mengetahui arah suhu naik atau turun ke mana.



Suhu sebagai Besaran Skalar - penerbit

- Besaran Vektor:** Bayangkan kamu sedang bermain bola basket dan ingin mengoper bola kepada temanmu. Kamu tidak hanya perlu tahu seberapa keras (kekuatan) mengoper bola, tapi juga ke arah mana bola harus dioper. Dalam kasus ini, kamu menggunakan besaran vektor, yang memiliki arah dan nilai (misalnya, "oper bola dengan kekuatan sedang ke arah utara").



Melempar Bola Basket sebagai Besaran Vektor - penerbit



2. Menggambarkan Vektor: Seni Menangkap Kekuatan Arah

Menggambarkan vektor bisa diibaratkan seperti menggambar petunjuk arah pada peta harta karun. Garis yang kita gambar menyatakan besaran vektor atau sejauh mana kita harus pergi dan panah diujung garis menyatakan arah vektor atau ke arah mana kita harus pergi.



Ilustrasi jarak peta harta karun terhadap titik awal penjelajahan – Shutterstock.com.488764039

Penyusun Vektor

Vektor terdiri dari titik tangkap vektor sebagai titik awal, ujung vektor sebagai titik akhir, anak panah sebagai arah vektor, dan besar vektor yang menyatakan panjang dan magnitudo vektor.

Contoh Penulisan Vektor

a. Lambang Vektor: Vektor sering dilambangkan dengan huruf yang diberi tanda panah di atasnya atau ditulis dengan huruf tebal agar mudah membedakan dengan skalar.

- ▷ Lambang vektor kecepatan: \vec{v} atau \mathbf{v} ,
- ▷ Lambang vektor percepatan: \vec{a} atau \mathbf{a} , dan
- ▷ Lambang vektor gaya: \vec{F} atau \mathbf{F} .

Notasi vektor dengan tanda panah di atasnya digunakan ketika ditulis dengan tulisan tangan, sedangkan notasi vektor dengan huruf cetak tebal digunakan ketika diketik di buku cetak.

Contohnya: $\vec{v} = (3,4)$, berarti vektor kecepatan \vec{v} memiliki komponen horizontal 3 dan komponen vertikal 4.

b. Besar Vektor: Besar vektor (sering disebut magnitudo) adalah ukuran panjang vektor tersebut dan dihitung dari titik awal (asal) ke titik akhir vektor.

- ▷ Besar vektor kecepatan: $|\vec{v}|$ atau v
- ▷ Besar vektor percepatan: $|\vec{a}|$ atau a
- ▷ Besar vektor gaya: $|\vec{F}|$ atau F

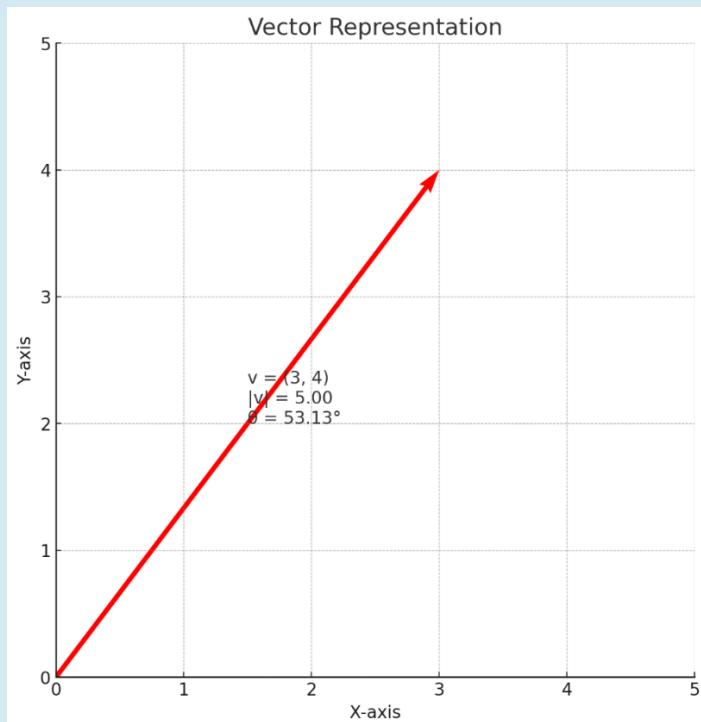
Notasi besar vektor dengan tanda mutlak dan tanda panah di atasnya digunakan ketika ditulis dengan tulisan tangan, sedangkan notasi besar vektor dengan huruf cetak miring digunakan ketika diketik di buku cetak.

Contoh Soal

Jika kita memiliki vektor $\vec{v} = (3,4)$, maka magnitudo atau besar vektor tersebut adalah:

$$|\vec{v}| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{9^2 + 16^2} = \sqrt{25} = 5$$

Jadi, besar vektor adalah $\vec{v} = 5$.



Representasi Besar Vektor – penerbit



Fakta Fisika di Sekitarmu



Pesawat lepas landas –
Shutterstock.com. 559714906

Ilmuwan Menggunakan Vektor untuk Melacak Pergerakan Angin, Pesawat, hingga Virus

Menggambarkan vektor bukan hanya soal arah dan panjang garis di atas kertas. Di dunia nyata, para ilmuwan dan insinyur menggunakan vektor untuk melacak arah angin dalam badai, menentukan lintasan pesawat, bahkan menganalisis penyebaran virus dalam ruang tiga dimensi. Setiap garis panah yang tampak sederhana sebenarnya menyimpan informasi penting tentang kekuatan dan arah suatu fenomena.

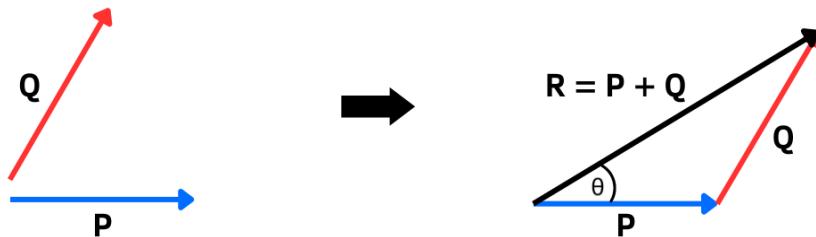


3. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor: Kolaborasi Kekuatan Hebat

Penjumlahan dan pengurangan vektor akan menghasilkan suatu resultan vektor. Resultan vektor dapat diketahui dengan beberapa metode penjumlahan dan pengurangan vektor sebagai berikut.

Penjumlahan Vektor Metode Segitiga

Penjumlahan vektor dengan metode segitiga adalah menggabungkan dua vektor secara berurutan. Hasilnya adalah vektor yang menghubungkan titik awal dari vektor pertama ke ujung dari vektor kedua.

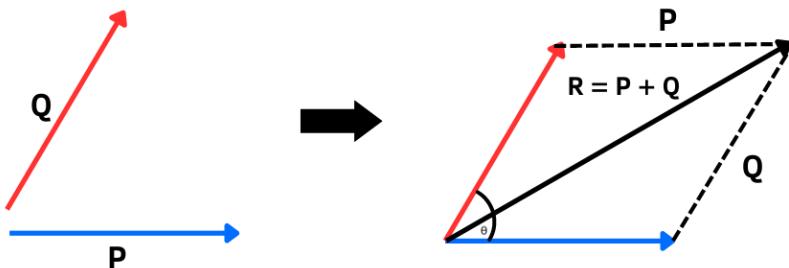


Penjumlahan Vektor Metode Segitiga - penerbit

Langkah-langkah penjumlahan vektor metode segitiga adalah, membuat vektor \vec{P} dan \vec{Q} , kemudian hubungkan \vec{P} ke ujung \vec{Q} untuk mendapatkan vektor resultan \vec{R} dengan membentuk sudut θ .

Penjumlahan Vektor Metode Jajargenjang

Metode ini melibatkan dua vektor dari titik yang sama dan kemudian menggambar garis sejajar dengan setiap vektor dari ujung yang lain. Hasilnya adalah diagonal dari jajargenjang yang terbentuk.

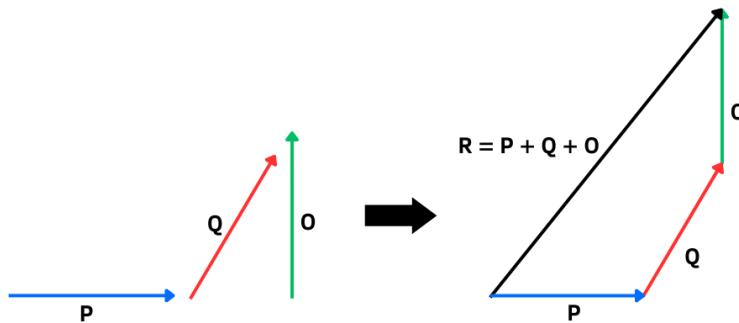


Penjumlahan Vektor Metode Jajargenjang - penerbit

Langkah-langkah penjumlahan vektor metode jajargenjang adalah, membuat vektor \vec{P} dan \vec{Q} dari titik yang sama, kemudian gambar garis sejajar dengan \vec{Q} dari ujung \vec{P} dan garis sejajar dengan \vec{P} dari ujung \vec{Q} , dan hubungkan diagonal untuk mendapatkan resultan kedua vektor \vec{R} .

Penjumlahan Vektor Metode Poligon (Segi Banyak)

Metode ini digunakan untuk menjumlahkan lebih dari dua vektor. Kita menggambar vektor secara berurutan, dan hasilnya adalah vektor yang menghubungkan titik awal vektor pertama dengan ujung vektor terakhir.

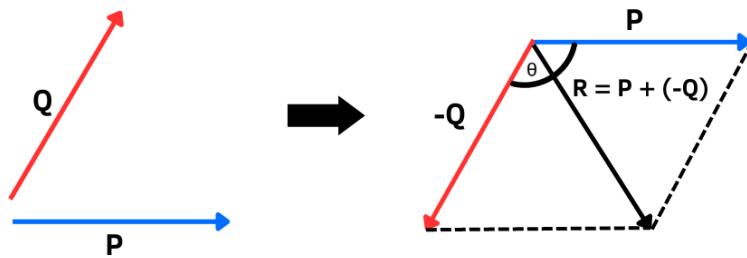


Penjumlahan Vektor Metode Poligon - penerbit

Langkah-langkah penjumlahan vektor metode poligon adalah, membuat vektor \vec{P} , \vec{Q} , dan \vec{O} , kemudian hubungkan titik awal vektor \vec{P} ke ujung \vec{O} agar mendapatkan resultant vektor \vec{R} .

Pengurangan Vektor Metode Jajargenjang

Metode jajargenjang untuk pengurangan vektor melibatkan pembentukan sebuah jajargenjang dengan dua vektor, salah satunya dibalik arah untuk pengurangan.



Pengurangan Vektor Metode Jajargenjang - penerbit

a. Langkah pengurangan vektor dengan menggunakan metode jajargenjang

- 1) Gambarkan vektor dan vektor \vec{P} dan \vec{Q} dari titik yang sama.
- 2) Balik arah vektor \vec{Q} sehingga menjadi $-\vec{Q}$.
- 3) Bentuk jajargenjang dengan menggambar garis sejajar dengan \vec{P} dan $-\vec{Q}$ dari ujung masing-masing vektor.
- 4) Vektor resultant \vec{R} adalah diagonal yang menghubungkan titik awal ke ujung diagonal yang berlawanan dari jajargenjang.

b. Penggunaan hukum kosinus dan hukum sinus untuk menghitung besar dan arah dari vektor resultant

- 1) Rumus Kosinus

Hukum kosinus digunakan untuk menghitung panjang sisi dari segitiga ketika dua sisi dan sudut di antara mereka diketahui.

$$R^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

Dalam konteks ini:

- ▷ a dan b adalah panjang vektor \vec{A} dan \vec{B}
- ▷ θ adalah sudut antara vektor \vec{A} dan \vec{B}
- ▷ c adalah panjang vektor resultant \vec{R}

2) Rumus Sinus

Hukum sinus digunakan untuk menemukan besar sudut atau panjang sisi dalam segitiga apa pun.

$$\frac{a}{\sin(A)} = \frac{b}{\sin(B)} = \frac{c}{\sin(C)}$$

Dalam konteks ini:

- ▷ a, b, c adalah panjang sisi-sisi segitiga
- ▷ A, B, C adalah sudut yang berhadapan dengan sisi-sisi tersebut

Contoh Soal

Misalkan kita memiliki dua vektor \vec{A} dan \vec{B} dengan panjang $|\vec{A}| = 5$ dan $|\vec{B}| = 3$, dan sudut antara mereka adalah $\theta=60^\circ$:

- a. Menggunakan Hukum Kosinus untuk Menghitung Besar Vektor Resultan:

$$\begin{aligned} |\vec{R}| &= \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 - 2|\vec{A}||\vec{B}|\cos(\theta)} \\ |\vec{R}| &= \sqrt{5^2 + 3^2 - 2(5)(3)\cos(60^\circ)} \\ |\vec{R}| &= \sqrt{25^2 + 9^2 - 30(0.5)} \\ |\vec{R}| &= \sqrt{34 - 15} \\ |\vec{R}| &= \sqrt{19} \approx 4.36 \end{aligned}$$

- b. Menggunakan Menggunakan Hukum Sinus untuk Menghitung Sudut Vektor Resultan:

Jika kita ingin menghitung sudut lain dalam segitiga, misalkan sudut yang berhadapan dengan vektor \vec{A} :

$$\begin{aligned} \frac{|\vec{A}|}{\sin(A)} &= \frac{|\vec{R}|}{\sin \theta} \\ \sin(A) &= \frac{|\vec{A}| \sin \theta}{|\vec{R}|} \\ \sin(A) &= \frac{5 \sin(60^\circ)}{4.36} \\ \sin(A) &= \frac{5(0.866)}{4.36} \\ \sin(A) &\approx \frac{4.33}{4.36} \approx 0.993 \\ A &\approx \sin^{-1}(0.993) \approx 83.6^\circ \end{aligned}$$

Penggunaan hukum kosinus dan sinus akan dapat menemukan besar dan arah vektor resultan dalam pengurangan vektor menggunakan metode jajargenjang.



4. Komponen Vektor: Membongkar Rahasia Arah Tersembunyi

Komponen vektor adalah cara untuk memecah vektor menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana berdasarkan arah tertentu, biasanya dalam sumbu x dan y.

Pengertian Komponen Vektor

Bayangkan kamu memiliki sebuah vektor \vec{A} yang menunjuk ke arah tertentu di suatu bidang. Untuk memudahkan perhitungan, kita dapat memecah vektor ini menjadi dua bagian: satu bagian sejajar dengan sumbu x (horizontal) dan satu bagian sejajar dengan sumbu y (vertikal). Kedua bagian ini disebut komponen-komponen vektor.

Cara Menentukan Komponen Vektor

Untuk memecah vektor menjadi komponen-komponen, kita bisa menggunakan trigonometri dasar. Misalkan vektor \vec{A} memiliki besar (magnitude) $|\vec{A}|$ dan membentuk sudut θ dengan sumbu x positif.

a. Komponen Horizontal (A_x)

- ▷ Komponen ini adalah bayangan dari vektor \vec{A} pada sumbu x
- ▷ Dihitung dengan rumus:

$$A_x = |\vec{A}| \cos(\theta)$$

b. Komponen Vertikal (A_y)

- ▷ Komponen ini adalah bayangan dari vektor \vec{A} pada sumbu y
- ▷ Dihitung dengan rumus:

$$A_y = |\vec{A}| \sin(\theta)$$

Contoh Soal

Misalkan kamu memiliki vektor \vec{A} dengan besar 5 satuan dan membentuk sudut 30 derajat dengan sumbu x.

a. Komponen Horizontal (A_x)

$$A_x = 5 \cos(30^\circ) = 5 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 4.33$$

b. Komponen Vertikal (A_y)

$$A_y = 5 \sin(30^\circ) = 5 \times \frac{1}{2} = 2.5$$

Jadi, vektor \vec{A} dapat dituliskan sebagai kombinasi dari komponen-komponennya yaitu sebagai berikut:

$$\vec{A} = (4.33, 2.5)$$

Aplikasi Komponen Vektor

Mengetahui komponen vektor sangat membantu dalam berbagai aplikasi, misalnya:

- a. Menganalisis Gaya: Dalam fisika, kita sering harus menganalisis gaya yang bekerja pada suatu benda. Dengan memecah gaya menjadi komponen-komponennya, kita dapat lebih mudah menghitung efek total dari gaya tersebut pada benda.

- b. Perhitungan Listrik: Dalam studi listrik dan medan magnet, komponen vektor digunakan untuk menggambarkan arah dan besaran medan listrik dan magnetik.
- c. Navigasi: Dalam navigasi, komponen vektor digunakan untuk menentukan arah dan jarak yang harus ditempuh.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Komponen vektor ada di balik navigasi satelit

Tahukah kamu? Setiap kali kamu menggunakan GPS untuk mencari arah, sistem tersebut sebenarnya sedang melakukan perhitungan komponen vektor ribuan kali per detik. Satelit GPS memancarkan sinyal dalam bentuk vektor posisi, dan perangkatmu memecah sinyal itu ke dalam komponen-komponen arah agar bisa menentukan posisi dan arah gerakmu secara akurat di permukaan bumi.



GPS - shutterstock.com.1415983727



5. Perkalian Vektor: Menjelajahi Dimensi Baru

Perkalian vektor merupakan operasi matematika yang melibatkan dua atau lebih vektor. Terdapat dua jenis perkalian vektor yang penting dalam fisika, yaitu perkalian titik (*dot product*) dan perkalian silang (*cross product*). Kedua jenis perkalian ini memiliki sifat dan aplikasi yang berbeda.

Perkalian Titik (*Dot Product*)

a. Definisi Perkalian Titik antara Dua Vektor

Perkalian titik antara dua vektor A dan B didefinisikan sebagai:

$$A \cdot B = |A| |B| \cos \theta$$

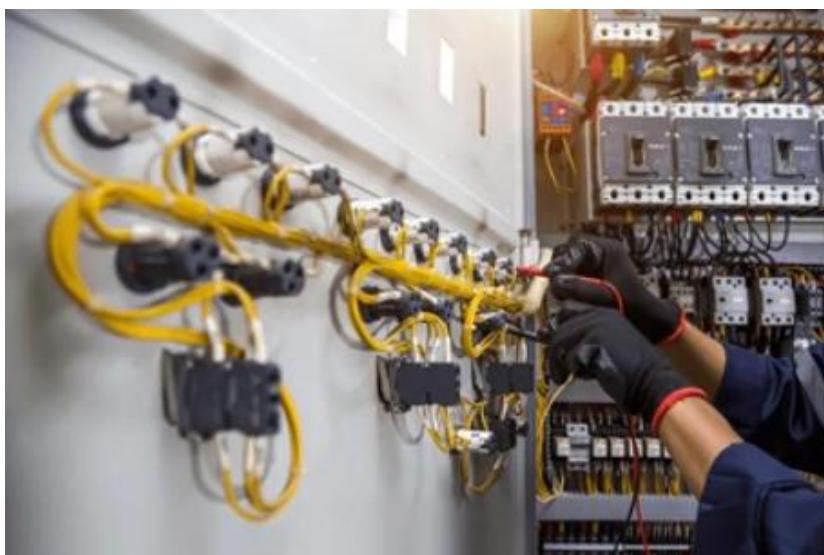
Keterangan:

- ▷ $A \cdot B$ adalah hasil perkalian titik antara vektor A dan B (skalar)
- ▷ $|A|$ adalah besar vektor A
- ▷ $|B|$ adalah besar vektor B
- ▷ θ adalah sudut antara vektor A dan B

b. Sifat-sifat Perkalian Titik

- 1) Komutatif: $A \cdot B = B \cdot A$
- 2) Distributif: $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$
- 3) Skalar: $k(A \cdot B) = (kA) \cdot B = A \cdot (kB)$
- 4) $A \cdot A = |A|^2$
- 5) $A \cdot B = 0$ jika dan hanya jika A tegak lurus B

c. Aplikasi Perkalian Titik



Pemanfaatan teori arus searah melalui daya listrik –
Shutterstock.com.2403357765

- 1) Menghitung usaha yang dilakukan oleh suatu gaya.
- 2) Menentukan proyeksi sebuah vektor pada vektor lainnya.

- 3) Menghitung daya listrik dalam rangkaian arus searah.

Perkalian Silang (Cross Product)

a. Definisi Perkalian Silang antara Dua Vektor

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = |\mathbf{A}| |\mathbf{B}| \sin \theta \mathbf{n}$$

Keterangan:

- ▷ $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$ adalah hasil perkalian silang antara vektor A dan B (vektor)
- ▷ $|\mathbf{A}|$ adalah besar vektor A
- ▷ $|\mathbf{B}|$ adalah besar vektor B
- ▷ θ adalah sudut antara vektor A dan B
- ▷ \mathbf{n} adalah vektor satuan yang tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh A dan B, arahnya ditentukan oleh aturan tangan kanan.

b. Sifat-sifat Perkalian Silang

- 1) Tidak komutatif: $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$
- 2) Distributif: $\mathbf{A} \times (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{A} \times \mathbf{B} + \mathbf{A} \times \mathbf{C}$
- 3) Skalar: $k(\mathbf{A} \times \mathbf{B}) = (k\mathbf{A}) \times \mathbf{B} = \mathbf{A} \times (k\mathbf{B})$
- 4) $\mathbf{A} \times \mathbf{A} = 0$
- 5) $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = 0$ jika dan hanya jika A sejajar B

c. Aplikasi Perkalian Silang



Pemanfaatan teori torsi –
Shutterstock.com.2403357765

- 1) Menghitung momen gaya (torsi).
- 2) Menentukan kecepatan sudut dari suatu benda yang berotasi.
- 3) Menghitung gaya Lorentz pada muatan yang bergerak dalam medan magnet.

Contoh Soal

Diketahui vektor $A = 2\mathbf{i} + 3\mathbf{j}$ dan vektor $B = -\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$. Tentukan:

- a. $A \cdot B$
- b. $A \times B$

Pembahasan:

- a. $A \cdot B = (2)(-1) + (3)(4) = 10$
- b. $A \times B = (2)(4)\mathbf{k} - (3)(-1)\mathbf{k} = 11\mathbf{k}$

Kegiatan Kelompok 1

Menyusun Komponen Vektor dalam Dunia Nyata

Tujuan: Memahami cara memecah vektor menjadi komponen sumbu x dan y dalam situasi sehari-hari.

1) Bentuk Kelompok

Bentuklah kelompok yang terdiri dari 3–4 orang.

2) Tugas Utama

Setiap kelompok diminta untuk memilih salah satu situasi nyata berikut:

- a. Menarik benda menggunakan tali miring
- b. Melontarkan bola ke udara
- c. Menyusun arah gaya pada pesawat kertas yang terbang
- d. Menarik kereta mainan di lantai yang miring

3) Gambarlah situasi tersebut dan tunjukkan vektor utama serta pecah vektor tersebut menjadi komponen-komponen sumbu x dan y.

4) Hitung Komponen Vektor

- a. Gunakan nilai besar vektor dan sudut yang sesuai (boleh disesuaikan atau diasumsikan).
- b. Hitung komponen horizontal (A_x) dan vertikal (A_y) menggunakan rumus:

$$A_x = |\vec{A}| \cos(\theta)$$

$$A_y = |\vec{A}| \sin(\theta)$$

5) Diskusi dan Analisis

- a. Jelaskan apa arti komponen horizontal dan vertikal dalam konteks situasi yang dipilih.
- b. Simpulkan manfaat memecah vektor dalam memahami arah gaya atau gerak.

6) Presentasi

Presentasikan hasil kerja kelompok di depan kelas menggunakan gambar, rumus, dan penjelasan secara sederhana dan logis.

7) Refleksi

- a. Apa tantangan yang kamu hadapi dalam menentukan komponen vektor?

Bagaimana pemahaman tentang komponen vektor dapat membantumu di bidang lain, seperti teknik, navigasi, atau olahraga?



6. Vektor Satuan: Kompas Ajaib Fisika

Vektor satuan adalah vektor yang memiliki panjang (magnitudo) satu satuan dan digunakan untuk menunjukkan arah dalam ruang. Vektor satuan sangat berguna dalam berbagai aplikasi fisika dan teknik karena mereka memberikan informasi tentang arah tanpa mengubah besaran.

Definisi dan Pentingnya Vektor Satuan

a. Definisi Vektor Satuan:

- ▷ Vektor satuan adalah vektor yang memiliki panjang satu satuan.
- ▷ Biasanya dilambangkan dengan huruf dengan tanda topi (^) di atasnya, seperti \hat{u} .

b. Pentingnya Vektor Satuan:

- ▷ Vektor satuan digunakan untuk menentukan arah.
- ▷ Mereka sangat berguna dalam membuat vektor lain lebih mudah dikelola dalam perhitungan.

Penjumlahan dan Pengurangan Vektor Satuan

Vektor satuan adalah vektor dengan panjang satu satuan yang digunakan untuk menunjukkan arah dalam ruang. Penjumlahan dan pengurangan vektor satuan mengikuti aturan dasar operasi vektor.

a. Penjumlahan Vektor Satuan

- ▷ Untuk menjumlahkan dua vektor satuan, kita letakkan ujung vektor pertama ke titik awal vektor kedua.
- ▷ Misalkan \hat{i} dan \hat{j} adalah vektor satuan pada sumbu x dan y. Penjumlahan mereka adalah:

$$\hat{R} = \hat{i} + \hat{j}$$

- ▷ Hasilnya adalah vektor yang membentuk diagonal dalam jajargenjang yang dibentuk oleh vektor \hat{i} dan \hat{j} .

b. Pengurangan Vektor Satuan

- ▷ Untuk mengurangkan dua vektor satuan, kita tambahkan vektor satuan yang berlawanan arah.
- ▷ Misalkan \hat{i} dan \hat{j} adalah vektor satuan, maka pengurangan mereka adalah:

$$\hat{R} = \hat{i} - \hat{j}$$

- ▷ Hasilnya adalah vektor yang menghubungkan titik awal \hat{i} ke ujung vektor $-\hat{j}$.

Perkalian Vektor Satuan

Perkalian vektor satuan dapat berupa perkalian skalar (dot product) atau perkalian silang (cross product).

a. Perkalian Skalar Antara Dua Vektor Satuan yang Sejenis

Perkalian skalar dua vektor satuan yang sejenis ($\hat{i} \cdot \hat{i}$ atau $\hat{j} \cdot \hat{j}$) menghasilkan nilai 1 karena sudut di antara mereka adalah 0 derajat.

$$\hat{i} \cdot \hat{i} = 1, \quad \hat{j} \cdot \hat{j} = 1$$

b. Perkalian Skalar Antara Dua Vektor Satuan yang Tidak Sejenis

Perkalian skalar dua vektor satuan yang tidak sejenis ($\hat{i} \cdot \hat{j}$) menghasilkan nilai 0 karena sudut di antara mereka adalah 90 derajat.

$$\hat{i} \cdot \hat{j} = 0, \quad \hat{j} \cdot \hat{i} = 0$$

c. Perkalian Vektor Antara Dua Vektor Satuan yang Sejenis

Perkalian silang dua vektor satuan yang sejenis ($\hat{i} \times \hat{i}$ atau $\hat{j} \times \hat{j}$) menghasilkan vektor nol karena arah dan magnitudo keduanya sama.

$$\hat{i} \times \hat{i} = \vec{0}, \quad \hat{j} \times \hat{j} = \vec{0}$$

d. Perkalian Vektor Antara Dua Vektor Satuan yang Tidak Sejenis

▷ Perkalian silang dua vektor satuan yang tidak sejenis ($\hat{i} \times \hat{j}$) menghasilkan vektor satuan yang tegak lurus terhadap kedua vektor tersebut

$$\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}, \quad \hat{j} \times \hat{k} = \hat{i}, \quad \hat{k} \times \hat{i} = \hat{j}$$

▷ Di sini, \hat{k} adalah vektor satuan pada sumbu z.

Contoh Soal

Mengapa dalam perhitungan fisika atau teknik, penggunaan vektor satuan lebih disukai ketika menyatakan arah suatu besaran vektor, dibandingkan langsung menggunakan koordinat vektor secara keseluruhan?

Pembahasan:

Penggunaan vektor satuan lebih disukai karena memberikan kejelasan arah tanpa terpengaruh oleh besar vektor. Dengan memisahkan arah (dinyatakan oleh vektor satuan) dan besar (skalar), kita dapat lebih mudah mengatur, mengubah, atau menggabungkan vektor dalam berbagai konteks fisika dan teknik. Misalnya, ketika gaya, kecepatan, atau medan hanya berubah besar tetapi arah tetap, kita cukup mengalikan nilai skalar dengan vektor satuan arah tersebut. Ini membuat perhitungan lebih fleksibel dan efisien, serta mengurangi potensi kesalahan dalam penentuan arah.

Jadi, vektor satuan berfungsi sebagai kerangka acuan yang konsisten untuk arah, tanpa membingungkan besarnya.

Rangkuman

1) Besaran skalar dan vektor: duel kekuatan fisika

Dalam fisika, penting membedakan antara besaran skalar dan vektor. Besaran skalar memiliki nilai dan satuan tanpa arah, seperti massa, energi, suhu, dan waktu. Sebaliknya, besaran vektor memiliki nilai, satuan, dan arah, seperti kecepatan, percepatan, gaya, dan momentum. Skalar hanya membutuhkan satu angka untuk menjelaskan jumlah atau ukuran, sedangkan vektor mencakup informasi tambahan tentang arah, yang penting untuk interaksi dalam sistem fisika.

2) Menggambarkan vektor: seni menangkap kekuatan arah

Menggambarkan vektor digambarkan dengan garis yang menyatakan besar vektor dan panah yang menunjukkan arah vektor. Vektor terdiri dari titik awal, ujung, arah (panah), dan besar (magnitudo). Notasi vektor biasanya ditulis dengan huruf berpanah atau tebal, seperti \vec{v} atau v untuk kecepatan, \vec{a} atau a untuk percepatan, dan \vec{F} atau F untuk gaya. Besar vektor dihitung dari titik awal ke ujung dan ditulis dengan tanda mutlak, seperti $|\vec{v}|$ atau v .

3) Penjumlahan dan pengurangan vektor: kolaborasi kekuatan hebat

Penjumlahan dan pengurangan vektor menghasilkan resultan vektor yang dapat diperoleh melalui beberapa metode. Metode segitiga melibatkan penggabungan dua vektor secara berurutan, di mana resultannya adalah vektor yang menghubungkan titik awal vektor pertama ke ujung vektor kedua. Metode jajargenjang melibatkan menggambar dua vektor dari titik yang sama, membentuk garis sejajar dari ujung masing-masing, dan resultannya adalah diagonal jajargenjang. Metode poligon digunakan untuk menjumlahkan lebih dari dua vektor secara berurutan, dengan resultan yang menghubungkan titik awal vektor pertama ke ujung vektor terakhir. Pengurangan vektor dengan metode jajargenjang melibatkan pembalikan salah satu vektor dan pembentukan jajargenjang, dengan resultannya sebagai diagonal yang menghubungkan titik awal ke ujung diagonal yang berlawanan. Hukum kosinus dan sinus digunakan untuk menghitung besar dan arah resultan vektor.

4) Komponen vektor: membongkar rahasia arah tersembunyi

Komponen vektor memecah vektor menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana berdasarkan arah tertentu, biasanya sumbu x dan y. Misalnya, vektor \vec{A} dapat dipecah menjadi komponen horizontal (A_x) dan vertikal (A_y). Untuk menentukan komponen-komponen ini, digunakan trigonometri dasar. Pengetahuan tentang komponen vektor sangat membantu dalam menganalisis gaya, perhitungan listrik, dan navigasi, karena memudahkan penghitungan efek total dari gaya, medan listrik dan magnetik, serta arah dan jarak yang harus ditempuh.

5) Perkalian vektor: menjelajahi dimensi baru

Perkalian vektor adalah operasi matematika penting dalam fisika, melibatkan dua jenis utama: perkalian titik (dot product) dan perkalian silang (cross product). Perkalian titik bersifat komutatif dan digunakan untuk menghitung usaha, proyeksi vektor, dan daya listrik. Perkalian silang bersifat tidak komutatif dan digunakan untuk menghitung torsi, kecepatan sudut, dan gaya Lorentz. Keduanya memiliki sifat distributif dan aplikasi spesifik dalam analisis fisika.

6) Vektor satuan: kompas ajaib fisika

Penjumlahan dan pengurangan vektor satuan mengikuti aturan dasar vektor, menghasilkan vektor baru yang mewakili kombinasi atau selisih arah. Perkalian skalar antara dua vektor satuan yang sejenis menghasilkan nilai satu, sedangkan perkalian skalar antara vektor satuan yang tidak sejenis menghasilkan nol. Perkalian silang antara dua vektor satuan yang sejenis menghasilkan vektor nol, sementara perkalian silang antara vektor satuan yang tidak sejenis menghasilkan vektor satuan baru yang tegak lurus terhadap vektor asal. Pemahaman tentang operasi-operasi ini memungkinkan aplikasi yang lebih mudah dalam analisis fisika dan teknik, seperti gaya, gerak, dan medan magnet.

Latihan Soal

1. Manakah dari pernyataan berikut yang benar mengenai besaran skalar dan vektor?
 - A. Massa dan gaya sama-sama memerlukan arah
 - B. Kecepatan tidak memerlukan satuan
 - C. Energi termasuk besaran vektor karena dapat berubah-ubah
 - D. Percepatan memiliki arah, sehingga termasuk besaran vektor
 - E. Waktu memiliki arah dalam sistem koordinat
2. Dalam menggambarkan vektor kecepatan \vec{v} , apa yang menyatakan arah gerakan objek?
 - A. Panjang garis vektor
 - B. Titik awal vektor
 - C. Arah panah vektor
 - D. Nilai dari $|\vec{v}|$
 - E. Notasi huruf v
3. Dua vektor A dan B digambarkan dari titik yang sama dan membentuk sudut. Jika digunakan metode jajargenjang, maka besar resultan vektor terletak:
 - A. Sejajar dengan vektor A
 - B. Antara A dan B sebagai diagonal jajargenjang
 - C. Melingkar mengikuti arah sudut
 - D. Di antara ujung A dan B, membentuk sudut siku-siku
 - E. Mengarah ke titik asal vektor A
4. Dalam situasi medan magnet, dua vektor satuan \hat{i} dan \hat{j} dikalikan silang. Hasil dari operasi tersebut akan...
 - A. Menghilangkan arah dan hanya menyisakan nilai
 - B. Menghasilkan vektor satuan baru yang tegak lurus terhadap keduanya
 - C. Selalu menghasilkan nol
 - D. Memberikan hasil yang sama seperti perkalian titik
 - E. Tidak berlaku karena satuan tidak bisa dikalikan
5. Seorang siswa menghitung resultan tiga vektor yang disusun membentuk segitiga tertutup dengan metode poligon. Ia mendapatkan resultannya nol. Apa interpretasi fisika dari hasil tersebut?
 - A. Salah dalam menggambar arah vektor
 - B. Semua vektor memiliki besar yang sama
 - C. Tidak ada vektor yang dominan
 - D. Tidak ada perpindahan total dalam sistem tersebut
 - E. Resultan selalu nol dalam metode poligon
6. Sebuah gaya \mathbf{F} diarahkan dengan sudut 60° terhadap sumbu x. Jika komponen horizontal gaya adalah $F \cos(60^\circ)$, maka mengapa penting mengetahui komponen ini dalam analisis sistem fisika?

- A. Untuk menyederhanakan bentuk vektor ke bentuk skalar
 - B. Karena gaya hanya bekerja di arah vertikal
 - C. Agar dapat menghitung energi potensial
 - D. Untuk memisahkan arah kerja gaya pada masing-masing sumbu koordinat
 - E. Supaya mudah menggambar vektor satuan
7. Dalam konteks perkalian titik dua vektor, hasil dari operasi ini bisa digunakan untuk...
- A. Menentukan arah vektor resultant
 - B. Mengukur sudut antara dua vektor
 - C. Menghitung usaha yang dilakukan oleh gaya
 - D. Menentukan momen gaya
 - E. Mengubah arah dari vektor asal

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!

Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 1



Referensi

[Wikipedia - Scalar](#)

[Wikipedia - Vector](#)

[Wikipedia - Unit Vector](#)

[Wikipedia - Dot Product](#)

[Wikipedia - Scalar](#)

[Wikipedia - Vector](#)

[Wikipedia - Vector Notation](#)

[Wikipedia - Vector](#)

[Wikipedia - Vector Notation](#)

[Wikipedia - Vector](#)

[Wikipedia - Cross Product](#)

[Wikipedia - Dot Product](#)



BAB 2: KINEMATIKA GERAK

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong, Bernalar kritis,
Kreatif

- **Kata Kunci:** Gerak lurus, Gerak parabola, Gerak melingkar, Kecepatan, Kelajuan, Percepatan, Jarak, Perpindahan, Periode, Frekuensi, Grafik gerak, Komponen vektor.

Tujuan Pembelajaran: Menerapkan Persamaan Kinematika dalam Berbagai Gerak

- 1. Menjelaskan karakteristik gerak satu dimensi yang melibatkan kecepatan dan percepatan konstan**
 - ▷ Memahami konsep kecepatan tetap dan percepatan tetap dalam gerak lurus.
 - ▷ Membedakan jenis-jenis gerak berdasarkan besar dan arah kecepatannya.
- 2. Menguraikan prinsip gerak lurus dua dimensi dengan fokus pada kecepatan dan percepatan**
 - ▷ Mengidentifikasi vektor kecepatan dan percepatan dalam dua arah berbeda.
 - ▷ Mengaplikasikan prinsip resultan vektor dalam analisis gerak dua dimensi.
- 3. Mendeskripsikan gerak melingkar beraturan dan karakteristik kelajuannya**
 - ▷ Menjelaskan arah dan besar kelajuan linear dalam lintasan melingkar.

- ▷ Mengaitkan kelajuan dengan periode dan frekuensi gerak melingkar.

4. Mengkaji besaran fisika yang terlibat dalam gerak lurus satu dan dua dimensi

- ▷ Menghitung jarak, perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada lintasan lurus.
- ▷ Menafsirkan grafik hubungan antara posisi, kecepatan, dan waktu.

5. Menganalisis hubungan matematis dari berbagai bentuk gerak benda, termasuk gerak lurus, parabola, dan melingkar

- ▷ Menggunakan persamaan kinematika untuk menyelesaikan masalah gerak.
- ▷ Menghubungkan komponen gerak horizontal dan vertikal dalam gerak parabola.

6. Menyajikan data hasil percobaan gerak secara grafis untuk memahami jenis-jenis gerak benda

- ▷ Membuat grafik dari data hasil pengamatan gerak satu, dua dimensi, dan melingkar.
- ▷ Menarik kesimpulan dari pola grafik untuk menentukan sifat gerak benda.

F I T R I



1. Konsep Gerak

Kinematika adalah cabang fisika yang mempelajari gerakan benda tanpa mempertimbangkan penyebab gerak tersebut. Dalam kehidupan sehari-hari, banyak contoh benda bergerak, seperti mobil melaju di jalan raya, bola menggelinding di lantai, atau pesawat terbang di udara. Benda dikatakan bergerak apabila kedudukannya berubah terhadap titik acuan seiring waktu.

Gerakan suatu benda memiliki berbagai sifat yang dapat dipahami melalui konsep-konsep dasar seperti **jarak**, **perpindahan**, **kelajuan**, **kecepatan**, dan **percepatan**. Jarak menyatakan seberapa banyak lintasan yang ditempuh tanpa memperhatikan arah, sementara perpindahan memperhitungkan perubahan posisi awal ke posisi akhir secara langsung dan melibatkan arah. Kelajuan mengukur seberapa cepat suatu benda menempuh jarak, sedangkan kecepatan menyertakan arah gerak. Percepatan menggambarkan seberapa cepat kecepatan benda berubah terhadap waktu. Dengan memahami sifat-sifat tersebut, kita dapat mendeskripsikan gerak benda secara kuantitatif dan sistematis.



Konsep gerak dapat diamati pada kehidupan sehari-hari seperti melihat mobil yang melaju atau orang lain berjalan – Shutterstock.com. 2473831915

Jarak dan Perpindahan

Jarak adalah besaran skalar yang menyatakan panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda selama bergerak, tanpa memperhatikan arah gerak. Nilainya selalu positif dan tidak bisa nol kecuali benda tidak bergerak. Sebagai contoh, jika seseorang berjalan memutar sejauh 100 meter kembali ke titik awal, maka jarak yang ditempuh adalah 100 meter.

Sebaliknya, **perpindahan** merupakan besaran vektor yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dari titik awal ke titik akhir, lengkap dengan arah. Perpindahan bisa bernilai nol jika posisi akhir sama dengan posisi awal. Dalam kasus orang berjalan memutar dan kembali ke titik awal, perpindahannya adalah nol, karena tidak ada perubahan posisi secara garis lurus.

Kelajuan dan Kecepatan

a. Kelajuan

Kelajuan adalah besaran skalar yang menyatakan seberapa jauh suatu benda bergerak per satuan waktu, tanpa memperhitungkan arah. Rumus umum kelajuan adalah:

$$\text{Kelajuan} = \frac{\text{Jarak}}{\text{Waktu}}$$

Satuan kelajuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah meter per sekon (m/s). Karena tidak memperhatikan arah, kelajuan tidak bisa bernilai negatif.

Kelajuan rata-rata diperoleh dari pembagian total jarak yang ditempuh oleh total waktu perjalanan. Ini mencerminkan kecepatan keseluruhan tanpa memperhatikan perubahan kecepatan atau arah selama perjalanan.

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{Total jarak}}{\text{Total waktu}}$$

$$\bar{v} = \frac{\sum s}{\sum t}$$

Dengan

$\sum s$ = jarak total yang ditempuh (m),

$\sum t$ = waktu tempuh (s), dan

\bar{v} = kelajuan rata-rata (m/s).

b. Kecepatan

Kecepatan adalah besaran vektor yang menunjukkan seberapa cepat dan ke arah mana suatu benda berpindah. Rumus kecepatan adalah:

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{Perpindahan}}{\text{Waktu}}$$

Satuan kecepatan juga meter per sekon (m/s), tetapi karena melibatkan arah, kecepatan bisa bernilai positif atau negatif tergantung arah gerak.

Kecepatan rata-rata dihitung dengan membagi total perpindahan dengan total waktu. Nilai ini menggambarkan kecepatan bersih dari titik awal ke titik akhir, memperhitungkan arah.

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{Total perpindahan}}{\text{Total waktu}}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Dengan

Δs = perpindahan atau perubahan posisi (m),

Δt = selang waktu (s), dan

\bar{v} = kecepatan rata-rata (m/s).

Dengan membedakan kelajuan dan kecepatan, kita dapat memahami bahwa dua benda dapat memiliki kelajuan yang sama namun kecepatan yang berbeda, tergantung arah geraknya.

Contoh Soal

Dimas melakukan perjalanan dari Yogyakarta menuju Semarang melalui jalur darat dan menempuh waktu selama 5 jam. Awalnya, mobil yang dikendarainya melaju dengan kelajuan 90 km/jam selama 2 jam. Selanjutnya, mobil melaju dengan kelajuan 70 km/jam selama 1 jam, dan akhirnya melaju dengan kelajuan 100 km/jam selama 2 jam. Hitunglah kelajuan rata-rata mobil yang dikendarai oleh Dimas selama perjalanan tersebut!

Pembahasan:

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \frac{\sum s}{\sum t} \\ \bar{v} &= \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3} \\ &= \frac{(90 \text{ km/jam} \times 2 \text{ jam}) + (70 \text{ km/jam} \times 1 \text{ jam}) + (100 \text{ km/jam} \times 2 \text{ jam})}{2 \text{ jam} + 1 \text{ jam} + 2 \text{ jam}} \\ &= \frac{180 \text{ km} + 70 \text{ km} + 200 \text{ km}}{5 \text{ jam}} \\ &= \frac{450 \text{ km}}{5 \text{ jam}} = 90 \text{ km/jam}\end{aligned}$$

**Fakta Fisika di Sekitarmu**

Seekor siput bisa punya kecepatan nol, tapi jaraknya tetap bertambah

Tahukah kamu? Jika seekor siput berjalan melingkar dan kembali ke titik awal, kecepatan rata-ratanya bisa nol, tapi jarak tempuhnya tetap ada. Inilah perbedaan antara kelajuan dan kecepatan!



Seekor siput – Wikipedia.org

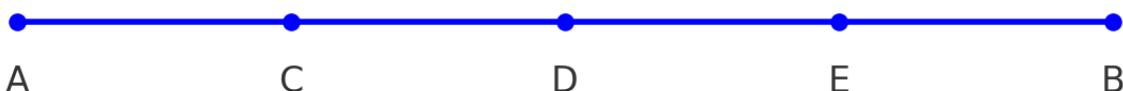


2. Gerak Lurus Beraturan

Konsep Gerak Lurus Beraturan

Sebuah benda dikatakan mengalami gerak lurus beraturan apabila benda tersebut menempuh lintasan lurus dan selalu mengalami perpindahan yang sama dalam setiap selang waktu yang sama. Artinya, kecepatannya tetap dan tidak berubah selama bergerak. Dalam hal ini, gerak lurus beraturan (GLB) terjadi ketika benda melaju di lintasan lurus dengan kecepatan konstan.

Contohnya, jika suatu partikel bergerak sepanjang lintasan AB dan setiap 2 detik menempuh perpindahan sejauh 10 meter, maka:



Pergerakan partikel dari titik A ke B – Ilustrasi Penerbit

Perpindahan $AC = CD = DE = EB = 10 \text{ m}$

Selang waktu dari $AC = CD = DE = EB = 2 \text{ s}$

Kecepatan partikel $AC = CD = DE = EB = \frac{10 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$

Jika perpindahan partikel dinyatakan dengan s dan selang waktu dinyatakan dengan t , kecepatan partikel dinyatakan dengan v , diperoleh persamaan berikut:

$$v = \frac{s}{t}$$

Dengan

s = perpindahan (m),

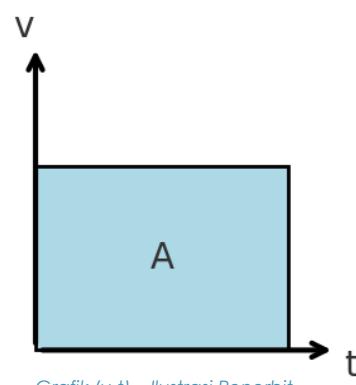
t = selang waktu (s), dan

v = kecepatan (m/s).

Grafik Kecepatan terhadap Waktu

Pada gerak lurus beraturan, hubungan antara kecepatan terhadap waktu jika digambarkan dalam grafik akan membentuk garis mendatar (horizontal) sejajar dengan sumbu waktu. Ini menunjukkan bahwa kecepatan tidak berubah meskipun waktu terus berjalan. Dari grafik $v-t$, kita bisa mengetahui besar perpindahan benda dengan cara menghitung luas daerah di bawah kurva grafik tersebut:

$$A = \text{luas persegi panjang}$$



Grafik ($v-t$) – Ilustrasi Penerbit

Grafik Perpindahan terhadap Waktu

Dalam GLB, grafik yang menunjukkan hubungan antara perpindahan dan waktu berupa garis lurus yang terus naik, menandakan bahwa semakin lama waktu, maka semakin besar perpindahan benda. Sebagai contoh, jika sebuah partikel memiliki kecepatan tetap 40 m/s, maka grafik hubungan waktu dan perpindahannya dapat disusun seperti pada gambar berikut.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{40}{1} = 40 \text{ m/s}$$

Dari gambar, terlihat bahwa perpindahan berbanding lurus dengan waktu, sehingga besar kemiringan grafik atau gradien garis lurusnya bisa dihitung menggunakan konsep trigonometri sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{s}{t} = v \text{ (Tangen sudut kemiringan = kecepatan)}$$

Jika benda yang bergerak lurus beraturan awalnya berada di posisi awal s_0 , dan pada waktu tertentu berada di posisi s , maka besar perpindahan yang ditempuh benda dari titik awal ke titik tertentu dapat dihitung menggunakan rumus:

$$s = s_0 + vt$$

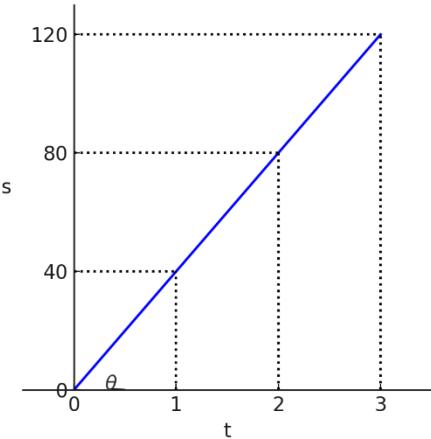
Dengan

s = perpindahan (m),

s_0 = posisi awal (m),

t = waktu (s), dan

v = kecepatan (m/s).



Gerak partikel dengan kecepatan tetap (40 m/s) – Ilustrasi Penerbit

Contoh Soal

Sebuah kereta mini bergerak ke arah kanan dengan kecepatan konstan sebesar 15 m/s selama 6 detik. Sebelum bergerak, kereta berada pada posisi 10 m dari titik acuan di sebelah kanan. Tentukan perpindahan yang dialami kereta tersebut!

Pembahasan:

$$\begin{aligned} s &= s_0 + vt \\ &= 10 \text{ m} + (15 \text{ m/s}) \times (6 \text{ s}) \\ &= 10 \text{ m} + 90 \text{ m} = 100 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, perpindahan kereta yang diukur dari titik acuan adalah 100 meter.



3. Gerak Lurus Berubah Beraturan

Konsep Gerak Lurus Berubah Beraturan

Sebuah benda dikatakan melakukan gerak lurus berubah beraturan apabila lintasannya berupa garis lurus dan kecepatannya berubah secara tetap setiap selang waktu tertentu. Artinya, perubahan kecepatan tersebut berlangsung secara teratur dari waktu ke waktu.

Jika dalam setiap interval waktu kecepatan benda bertambah secara tetap, maka benda mengalami percepatan tetap dan dikatakan mengalami gerak lurus berubah beraturan dipercepat. Sebaliknya, jika kecepatannya berkurang secara tetap, maka benda mengalami gerak lurus berubah beraturan diperlambat. Maka dapat disimpulkan bahwa jika kenaikan kecepatan tiap detik selalu sama, maka besaran tersebut dinamakan percepatan.



Sepeda motor bergerak dengan kecepatan tertentu – Shutterstock.com. 2524192839

Sebagai contoh, sebuah sepeda motor bergerak lurus dengan kecepatan awal 6 m/s. Setiap detik, kecepatan motor bertambah secara tetap sebesar 3 m/s. Hitunglah kecepatan motor setelah 5 detik!

Pembahasan:

Diketahui:

$$v_0 = 6 \text{ m/s}$$

$$a = 3 \text{ m/s}^2$$

$$t = 5 \text{ s}$$

Gunakan rumus kecepatan akhir GLBB:

$$v_t = v_0 + a \cdot t$$

$$v_t = 6 \text{ m/s} + (3 \text{ m/s}^2)(5 \text{ s})$$

$$= 6 + 15 = 21 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan motor setelah 5 detik adalah 21 m/s.

Percepatan

Percepatan didefinisikan sebagai:

$$\text{Percepatan} = \frac{\text{Penambahan kecepatan}}{\text{Selang waktu}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Dengan

Δv = perubahan kecepatan (m/s)

Δt = selang waktu (s)

a = percepatan (m/s²)

Rumus di bawah ini menyatakan hubungan antara kecepatan awal, percepatan, dan waktu untuk menentukan kecepatan akhir benda pada gerak lurus berubah beraturan.

$$v_t = v_0 + at$$

Rumus di bawah ini digunakan untuk menghitung percepatan berdasarkan perubahan kecepatan selama selang waktu tertentu.

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

Rumus di bawah ini digunakan untuk menentukan jarak yang ditempuh oleh benda dalam GLBB, yang dipengaruhi oleh kecepatan awal, waktu, dan percepatan. Bentuknya merupakan fungsi kuadrat terhadap waktu.

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Rumus di bawah ini digunakan dalam gerak lurus berubah beraturan jika waktu (t) tidak diketahui. Rumus ini menghubungkan perubahan kecepatan dan jarak tempuh dengan percepatan secara langsung, tanpa memerlukan nilai waktu.

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

Dengan

v_0 = kecepatan awal benda (m/s)

v_t = kecepatan akhir benda (m/s)

a = percepatan (m/s²)

t = waktu tempuh (s)

s = jarak yang ditempuh benda (m)



4. Gerak Jatuh Bebas

Konsep Gerak Jatuh Bebas

Pernahkah kamu melihat seseorang melakukan olahraga bungee jumping atau menyaksikan buah kelapa jatuh dari pohon? Kedua peristiwa ini sebenarnya merupakan contoh nyata dari gerak jatuh bebas. Gerak ini termasuk ke dalam gerak lurus berubah beraturan (GLBB) dengan percepatan tetap, yaitu percepatan gravitasi.

Pada gerak jatuh bebas, hambatan udara biasanya diabaikan sehingga benda dianggap bergerak hanya karena pengaruh gravitasi. Gerak ini terjadi ketika benda dilepaskan dari ketinggian tertentu dengan kecepatan awal nol ($v_0 = 0$), dan percepatan yang bekerja padanya adalah percepatan gravitasi ($g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$).

Jika benda dijatuhkan dari suatu ketinggian tertentu, maka benda tersebut akan mempercepat kecepatannya secara teratur hingga menyentuh tanah, dan geraknya dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$\begin{aligned}v_t &= v_0 + at \\v_t &= 0 + gt \\v_t &= gt \\y &= v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\y &= 0 + \frac{1}{2} gt^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y &= \frac{1}{2} gt^2 \\v_t^2 &= v_0^2 + 2ay \\v_t^2 &= 0 + 2gy \\v_t^2 &= 2gy\end{aligned}$$

Dengan

v_0 = kecepatan awal (m/s)

v_t = kecepatan benda saat t (m/s)

y = jarak vertikal (m)

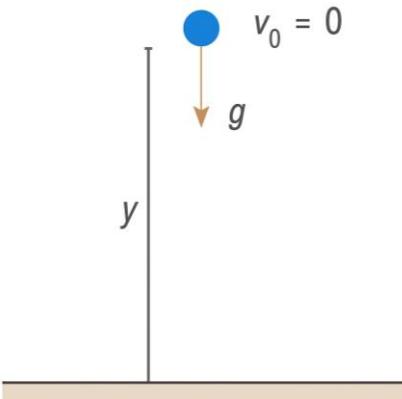
t = waktu tempuh (s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

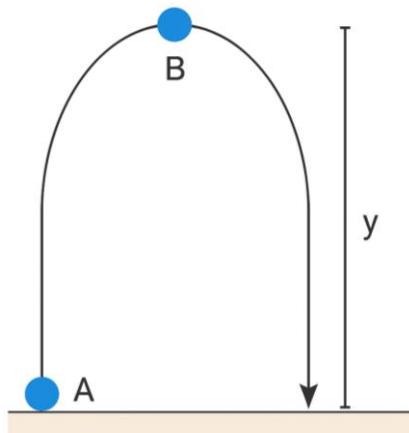
a. Gerak Vertikal ke Atas

Gerak vertikal ke atas merupakan kebalikan dari gerak jatuh bebas. Saat sebuah benda dilempar ke atas, benda akan melawan gaya gravitasi, sehingga kecepatannya semakin berkurang hingga mencapai titik tertinggi. Dalam kondisi ini, percepatan yang bekerja tetap gravitasi (g), namun arahnya berlawanan dengan arah gerak. Gerak ini juga termasuk dalam GLBB dengan percepatan tetap. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung gerak vertikal ke atas:

$$\begin{aligned}vy &= v_0 - gt \\y &= v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 \\vy^2 &= v_0^2 - 2gy\end{aligned}$$



Gambar ilustrasi gerak jatuh bebas – Ilustrasi Penerbit



Gambar ilustrasi gerak vertikal ke atas – Ilustrasi Penerbit

Ketika benda mencapai titik tertinggi, kecepatannya akan menjadi nol ($v_y = 0$). Dengan demikian, ketinggian maksimum (y_{maks}) dapat dihitung dengan:

$$y_{\text{maks}} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Dengan

v_0 : kecepatan awal benda (m/s)

v_y : kecepatan benda saat di ketinggian y (m/s)

y : jarak vertikal (m)

t : waktu (s)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

b. Gerak Vertikal ke Bawah

Gerak vertikal ke bawah terjadi saat sebuah benda dilempar lurus ke bawah dari ketinggian tertentu dengan kecepatan awal tertentu (v_0). Karena arah gerak benda sejalan dengan arah percepatan gravitasi (g), maka kecepatan benda akan terus bertambah seiring waktu. Oleh karena itu, gerak ini termasuk gerak lurus berubah beraturan dipercepat (GLBB dipercepat). Dalam situasi ini, percepatan yang dialami benda berasal dari gaya gravitasi bumi, dan rumus yang digunakan untuk menghitung gerakan vertikal ke bawah adalah sebagai berikut:

$$v_t = v_0 + gt$$

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2gy$$

Dengan

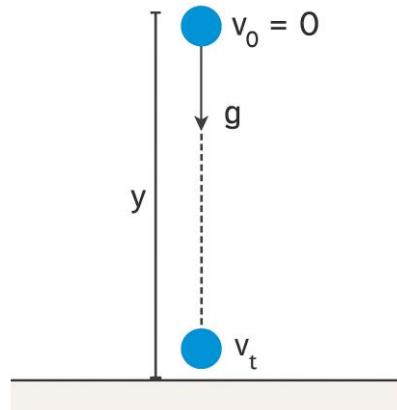
v_0 = kecepatan awal benda (m/s)

v_t = kecepatan benda pada waktu t (m/s)

y = jarak vertikal yang ditempuh benda (m)

t = waktu (s)

g = percepatan gravitasi bumi ($\approx 9,8 \text{ m/s}^2$)



Gambar ilustrasi gerak vertikal ke bawah –
Ilustrasi Penerbit

Contoh Soal

Bola P berada pada ketinggian 80 meter vertikal di atas bola Q. Pada saat yang sama, bola P dijatuhkan bebas oleh Wulan dari atas gedung, sedangkan bola Q dilempar vertikal ke atas oleh Rudi dengan kecepatan 25 m/s.

a. Kapan kedua bola bertemu?

b. Di ketinggian berapa dari posisi Rudi (tanah) kedua bola bertemu?

Pembahasan:

Misalkan kedua bola bertemu di titik C setelah waktu t detik.

- a. Menentukan waktu pertemuan kedua bola

Karena bola P dijatuhkan bebas dari atas ($v_0 = 0$), dan bola Q dilempar ke atas dengan kecepatan awal, maka jarak total 80 m akan ditempuh oleh:

$$\text{Bola P: } y_{PC} = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{Bola Q: } y_{QC} = v_{0Q}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Gabungan keduanya akan sama dengan 80 m:

$$y_{PC} + y_{QC} = 80$$

$$\frac{1}{2}gt^2 + \left(v_{0Q}t - \frac{1}{2}gt^2\right) = 80$$

$$v_{0Q}t = 80$$

$$25t = 80$$

$$\Rightarrow t = \frac{80}{25} = 3,2 \text{ detik}$$

Jadi, kedua bola bertemu setelah 3,2 detik.

- b. Menentukan ketinggian tempat pertemuan dari posisi Rudi (tanah)

Gunakan gerak bola Q (yang dilempar dari bawah ke atas):

$$y_{QC} = v_{0Q}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$= 25(3,2) - \frac{1}{2}(10)(3,2)^2$$

$$= 80 - 0,5 \times 10 \times 10,24$$

$$= 80 - 51,2 = 28,8 \text{ meter}$$

Jadi, kedua bola bertemu pada ketinggian 28,8 meter dari posisi Rudi (tanah).

Kegiatan Kelompok 1

Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Menggunakan Bola dan Stopwatch

Tujuan: Menyelidiki karakteristik gerak jatuh bebas dan membuktikan bahwa benda yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu akan mempercepat kecepatannya secara teratur karena pengaruh gravitasi.

a. Alat dan Bahan:

- 1) Bola kecil atau kelereng (2–3 buah)
- 2) Stopwatch
- 3) Meteran atau penggaris panjang
- 4) Tripod atau kursi/meja tinggi
- 5) Karton atau alas empuk
- 6) Kalkulator
- 7) Kertas kerja untuk mencatat data

b. Langkah Kegiatan:

- 1) Bentuk kelompok kecil terdiri dari 3 sampai 5 siswa. Bagi tugas sebagai pengamat waktu, pencatat data, dan pelepas benda.

- 2) Ukur dan tentukan tiga ketinggian berbeda dari lantai, misalnya: 1 meter, 1,5 meter, dan 2 meter. Tandai dengan jelas pada dinding atau tiang.
- 3) Anggota kelompok pertama memegang stopwatch, sementara anggota lain bersiap menjatuhkan bola dari ketinggian pertama (1 meter).
- 4) Jatuhkan bola tanpa melempar (kecepatan awal = 0), dan mulai stopwatch tepat saat bola dilepaskan. Hentikan stopwatch saat bola menyentuh lantai. Ulangi pengukuran sebanyak tiga kali untuk tiap ketinggian dan hitung rata-rata waktunya.
- 5) Catat waktu jatuh untuk masing-masing ketinggian. Gunakan rumus:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

- 6) Bandingkan data waktu eksperimen dengan waktu teoritis berdasarkan rumus di atas.
- 7) Buat grafik y terhadap t^2 (ketinggian terhadap waktu kuadrat) dan amati apakah membentuk grafik linear. Grafik linear menunjukkan bahwa gerak jatuh bebas adalah gerak lurus berubah beraturan.

c. Pertanyaan Refleksi:

- 1) Bagaimana hubungan antara ketinggian dan waktu jatuh benda?
- 2) Apakah benda jatuh dengan kecepatan tetap atau berubah?
- 3) Apa yang membuktikan bahwa geraknya termasuk percepatan tetap?
- 4) Apakah ada perbedaan antara waktu yang kalian ukur dan waktu yang dihitung secara teori? Mengapa?

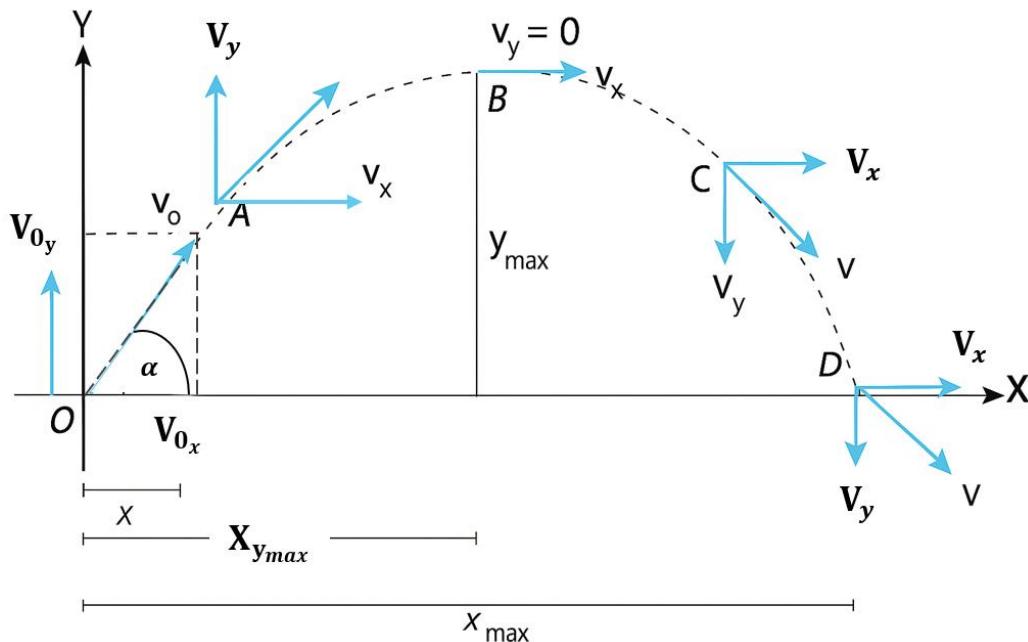


5. Gerak Parabola

Gerak Parabola pada Bidang Datar

Gerak parabola terjadi ketika sebuah benda dilempar dengan sudut tertentu terhadap arah horizontal. Gerak ini merupakan kombinasi dari dua jenis gerak:

- Gerak Lurus Beraturan (GLB) pada sumbu X, karena kecepatan horizontal tetap dan tidak mengalami percepatan.
- Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) pada sumbu Y, karena kecepatan vertikal berubah akibat pengaruh gaya gravitasi.



Gambar ilustrasi gerak parabola dengan komponen vektor kecepatan pada sumbu X dan Y – Ilustrasi Penerbit

Selama benda bergerak mengikuti lintasan parabola, satu-satunya gaya yang bekerja padanya adalah gaya gravitasi. Lintasan gerak parabola berbentuk lengkung simetris. Di titik tertinggi lintasan, komponen kecepatan vertikal bernilai nol sedangkan kecepatan horizontal bernilai tetap sepanjang lintasan.

Persamaan Kecepatan dan Kedudukan pada Gerak Parabola

a. Komponen Gerak di Sumbu X (GLB)

Karena tidak ada percepatan di arah horizontal, maka berlaku:

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$

$$x = v_{0x}t = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

Dengan

v_{0x} = komponen kecepatan awal arah X (m/s)

v_x = kecepatan benda pada arah X saat t (m/s)

x = jarak horizontal yang ditempuh (m)

t = waktu tempuh (s)

α = sudut lemparan terhadap horizontal ($^\circ$)

b. Komponen Gerak di Sumbu Y (GLBB)

Pada arah vertikal, kecepatan berubah akibat gravitasi. Maka berlaku:

$$\begin{aligned}v_y &= v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt \\y &= v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \\v_y^2 &= v_{0y}^2 - 2gy = v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gy\end{aligned}$$

Dengan:

v_{0y} = komponen kecepatan awal arah Y (m/s)

v_y = kecepatan arah vertikal saat t (m/s)

y = ketinggian benda dari posisi awal (m)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

t = waktu tempuh (s)

α = sudut elevasi dari horizontal ($^\circ$)

Titik Terjauh dan Titik Tertinggi

a. Titik Tertinggi (Titik B)

Berdasarkan gambar di atas, saat benda mencapai titik tertinggi, kecepatan vertikalnya menjadi nol ($v_y = 0$), karena gaya gravitasi sepenuhnya menghambat gerak ke atas.

▷ Kecepatan horizontal tetap

$$v_y = 0$$

$$v_B = v_x = v_0 \cos \alpha$$

▷ Waktu untuk mencapai titik tertinggi

$$t_B = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

▷ Ketinggian maksimum yang dicapai benda

$$y_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

▷ Komponen posisi horizontal saat titik tertinggi (x_B)

$$x_B = v_0 \cos \alpha \cdot t_B$$

$$x_B = v_0 \cos \alpha \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)$$

$$x_B = \left(\frac{v_0^2}{2g} \right) \cdot 2 \cos \alpha \sin \alpha$$

$$x_B = \left(\frac{v_0^2}{2g} \right) \cdot \sin 2\alpha$$

Dengan demikian, posisi horizontal pada titik tertinggi adalah:

$$x_B = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

Setelah diperoleh posisi horizontal maksimum, posisi vertikalnya (y_B) dapat dihitung dengan menyubstitusi waktu yang sama ke dalam persamaan posisi vertikal. Sehingga, koordinat lengkap titik tertinggi menjadi:

$$B(x'_B, y_B) = \left(\frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}, \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \right)$$

b. Jarak Terjauh (Titik D)

Ketika sebuah benda ditembakkan dari suatu titik O membentuk lintasan parabola, maka benda tersebut akan dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Akibatnya, benda akan kembali ke tanah dan menyentuh sumbu X di titik D. Titik D ini merupakan posisi terjauh yang dapat dicapai oleh benda dari titik asal, dengan syarat bahwa posisi vertikalnya saat itu adalah nol, yaitu $y = 0$.

▷ Persamaan gerak vertikal

Untuk mencari waktu saat benda mencapai titik terjauh, maka gunakan persamaan:

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

Substitusi $y = 0$. menghasilkan:

$$0 = v_0 \sin \alpha \cdot t_D - \frac{1}{2} g t_D^2$$

$$\frac{1}{2} g t_D^2 = v_0 \sin \alpha \cdot t_D$$

$$\frac{1}{2} g t_D = v_0 \sin \alpha$$

$$t_D = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

▷ Posisi horizontal saat mencapai jarak terjauh

Karena waktu untuk mencapai jarak terjauh adalah dua kali waktu untuk mencapai titik tertinggi, maka dapat dituliskan:

$$x_D = v_0 \cos \alpha \cdot t_D$$

Substitusikan nilai t_D , diperoleh:

$$x_D = v_0 \cos \alpha \cdot \left(\frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \right)$$

$$x_D = \left(\frac{v_0^2}{g} \right) \cdot \sin 2\alpha$$

Sehingga, jarak maksimum yang dicapai benda dari titik asal adalah:

$$x_{maks} = \frac{v_0^2 \sin 2 \alpha}{g}$$

- ▷ Jarak jatuh maksimum

Jarak terjauh yang dapat dicapai oleh suatu benda dalam gerak parabola terjadi ketika sudut elevasinya adalah 45° . Dalam kondisi ini, komponen horizontal dan vertikal dari kecepatan awal sama besar, dan nilai sinus dari dua kali sudut elevasi ($\sin 2\alpha$) bernilai maksimum, yaitu 1. Hal ini menyebabkan benda mencapai titik jatuh terjauh dari titik awal peluncuran.

Jarak terjauh ini juga sama dengan dua kali jarak horizontal saat benda mencapai titik tertingginya. Dalam kondisi sudut elevasi 45° , jarak maksimum dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$x_{maks} = \frac{v_0^2 \sin 2 \alpha}{g}$$

Dengan

x_{maks} = jarak maksimum jatuh benda (dalam meter),

v_0 = kecepatan awal benda (m/s),

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²).

c. Sifat Simetri Gerak Parabola dan Aplikasinya dalam Kehidupan Sehari-hari



Kembang api yang meluncur ke udara merupakan salah satu contoh konsep simetri gerak parabola –
Shutterstock.com.2645829735

- 1) Waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai titik tertinggi (dari O ke B) sama dengan waktu saat benda turun kembali dari titik tertinggi ke tanah (dari B ke D).

$$t_{OB} = t_{BD} = \frac{v_0}{g} \sin \alpha$$

$$t_{OD} = t_{OB} + t_{BD} = 2 \frac{v_0}{g} \sin \alpha = 2t_{OB}$$

- 2) Kecepatan benda saat naik menuju titik tertinggi sama besar dengan kecepatan saat turun dari titik tersebut, hanya arah geraknya yang berbeda.

$$v_0 = v_D = v_0$$

$$v_A = v_C = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

- 3) Titik yang berada di kiri dan kanan sumbu simetri lintasan memiliki jarak horizontal yang sama terhadap sumbu tersebut.

$$x_{OB} = x_{BD} = x_B = \frac{v_0^2}{2g} \sin 2\alpha$$

$$x_{OD} = x_{OB} + x_{BD} = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha = 2x_B$$

- 4) Sudut saat benda naik memiliki besar yang sama dengan sudut saat benda turun, namun arahnya berlawanan.

$$\alpha_O = -\alpha_D$$

- 5) Titik-titik pada lintasan yang simetris terhadap titik tertinggi memiliki ketinggian yang sama.

$$y_A = y_C = v_0 \sin \alpha \cdot t_A - \frac{1}{2} g t_A^2$$

Dalam kehidupan sehari-hari, sifat simetri ini bisa kita amati pada berbagai aktivitas, seperti gerakan bola saat dilempar atau ditendang, kembang api yang meluncur ke udara, hingga jalur peluru meriam. Seorang pemain basket, misalnya, memanfaatkan prinsip ini untuk memperkirakan sudut dan kekuatan lemparan agar bola melengkung sempurna ke dalam ring. Begitu pula dalam bidang teknik dan militer, pemahaman tentang simetri gerak parabola digunakan untuk menghitung lintasan proyektil secara presisi. Dengan memahami sifat ini, kita dapat memprediksi posisi benda di udara pada waktu tertentu, sehingga konsep ini sangat berguna dalam rekayasa, olahraga, maupun analisis gerak di alam.

Contoh Soal

Sebuah bola ditendang dari tanah dengan sudut elevasi 30° terhadap horizontal dan kecepatan awal sebesar 20 m/s . Hitunglah ketinggian maksimum yang dicapai bola tersebut! (Gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$).

Pembahasan:

Diketahui:

Kecepatan awal: $v_0 = 20 \text{ m/s}$

Sudut elevasi: $\alpha = 30^\circ$

Gravitasi: $g = 10 \text{ m/s}^2$

Gunakan rumus ketinggian maksimum pada titik tertinggi:

$$y_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Substitusi nilai yang diketahui:

$$y_{\text{maks}} = \frac{(20)^2 \cdot \sin^2 30^\circ}{2 \cdot 10}$$

$$= \frac{400 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2}{20}$$

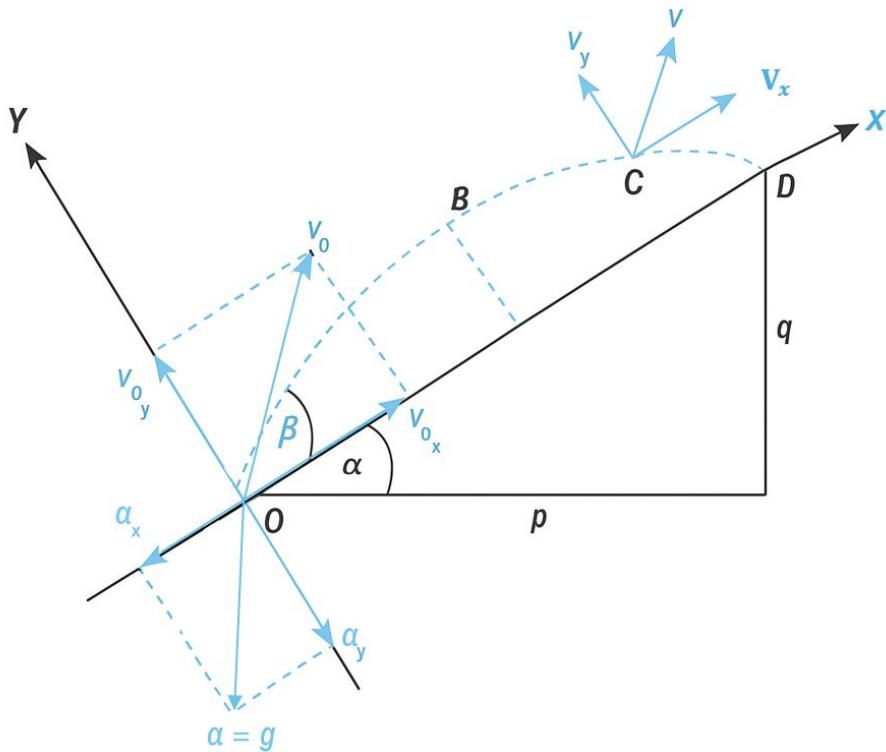
$$= \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{20}$$

$$= \frac{100}{20} = 5 \text{ m}$$

Maka, ketinggian maksimum yang dicapai bola adalah 5 meter.

Gerak Parabola pada Bidang Miring

Sebuah peluru yang ditembakkan dengan sudut elevasi β terhadap bidang miring menyebabkan peluru mengalami dua gerakan secara bersamaan yaitu, gerak sepanjang sumbu X (searah bidang miring), dan sepanjang sumbu Y (tegak lurus bidang miring). Gambar di bawah ini menunjukkan lintasan parabola peluru yang bergerak pada bidang miring.



Gambar ilustrasi gerak parabola pada bidang miring – Ilustrasi Penerbit

a. Persamaan pada Sumbu X

Gerak benda sepanjang sumbu X dipengaruhi oleh komponen kecepatan awal searah bidang miring dan perlambatan akibat gaya gravitasi. Kecepatan awal dalam arah ini dinyatakan dengan:

$$v_x = v_0 \cos \beta - g \sin \alpha \ t$$

$$x = v_0 \cos \beta \ t - \frac{1}{2} g \sin \alpha \ t^2$$

Dengan:

v_0 = kecepatan awal (m/s)

v_x = kecepatan dalam arah sumbu X (m/s)

x = jarak dalam arah sumbu X (m)

α = sudut antara sumbu X dan bidang miring ($^{\circ}$)

β = sudut elevasi ($^{\circ}$)

b. Persamaan pada Sumbu Y

Pada sumbu Y, benda juga memiliki komponen kecepatan awal dan mengalami perlambatan akibat gravitasi. Komponen-komponennya dijelaskan dalam persamaan berikut:

$$v_y = v_0 \sin \beta - g \cos \alpha t$$

$$y = v_0 \sin \beta t - \frac{1}{2} g \cos \alpha t^2$$

$$v_y^2 = v_0^2 \sin^2 \beta - 2g \cos \alpha y$$

Dengan:

v_0 = kecepatan awal (m/s)

v_x = kecepatan dalam arah sumbu Y (m/s)

y = jarak dalam arah sumbu Y (m)

α = sudut antara sumbu X dan bidang miring ($^{\circ}$)

β = sudut elevasi ($^{\circ}$)

c. Persamaan di Sembarang Titik (Titik C)

Untuk menentukan besar kecepatan dan arah gerak benda di titik sembarang seperti titik C, kita gunakan:

$$v_c = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_x = v_0 \cos \beta - g \sin \alpha t_c$$

$$v_y = v_0 \sin \beta - g \cos \alpha t_c$$

Dengan:

v_c = kecepatan di titik C

t_c = waktu ketika benda berada di titik C

Arah kecepatan benda di titik C dihitung dengan:

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$$

d. Titik Tertinggi (Titik B)

Benda akan mencapai titik tertinggi ketika kecepatan pada sumbu Y menjadi nol, yaitu $v_y = 0$. Berdasarkan hal tersebut, kita bisa menentukan waktu untuk mencapai titik tertinggi dengan:

$$v_y = v_0 \sin \beta - g \cos \alpha t$$

$$0 = v_0 \sin \beta - g \cos \alpha t_{OB}$$

$$t_{OB} = \frac{v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha}$$

Dengan:

t_{OB} = waktu untuk mencapai titik tertinggi (s)

Ketinggian maksimum yang dicapai oleh benda di bidang miring dapat dihitung dengan mensubstitusikan nilai waktu untuk mencapai titik tertinggi ke dalam persamaan jarak pada sumbu Y. Hasilnya adalah:

$$y = v_0 \sin \beta t - \frac{1}{2} g \cos \alpha t^2$$

$$y_{maks} = v_0 \sin \beta \left(\frac{v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} \right) - \frac{1}{2} g \cos \alpha \left(\frac{v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} \right)^2$$

$$y_{maks} = \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{g \cos \alpha} - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{g \cos \alpha}$$

$$y_{maks} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{g \cos \alpha}$$

$$y_{maks} = \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{2g \cos \alpha}$$

Dengan:

y_{maks} = tinggi maksimum pada bidang miring (m)

e. Jarak Terjauh

Karena adanya gaya gravitasi, benda yang dilempar ke atas dengan sudut elevasi β akan kembali menyentuh bidang miring. Posisi terjauh ini terjadi saat ketinggian terhadap sumbu Y menjadi nol ($y = 0$). Kita dapat menentukan waktu untuk mencapai titik ini:

$$y = v_0 \sin \beta t - \frac{1}{2} g \cos \alpha t^2$$

$$0 = v_0 \sin \beta t_{OD} - \frac{1}{2} g \cos \alpha t_{OD}^2$$

$$t_{OD} = \frac{2v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha}$$

Dengan:

t_{OD} = waktu untuk mencapai jarak terjauh (s)

Dengan menggantikan nilai t_{OD} ke dalam persamaan posisi pada sumbu X, kita dapat menentukan jarak terjauh yang ditempuh benda dari titik awalnya:

$$x = v_0 \cos \beta t - \frac{1}{2} g \sin \alpha t^2$$

$$x_{OD} = v_0 \cos \beta \cdot \frac{2v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} - \frac{1}{2} g \sin \alpha \left(\frac{2v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} \right)^2$$

$$x_{maks} = \frac{2v_0^2 \sin \beta \cos \beta}{g \cos \alpha} - \frac{2v_0^2 \sin \beta \sin \alpha}{g \cos^2 \alpha}$$

$$x_{maks} = \frac{2v_0^2 \sin \beta}{g \cos^2 \alpha} (\cos \beta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \beta)$$

$$x_{maks} = \frac{2v_0^2 \sin \beta \cos(\alpha + \beta)}{g \cos^2 \alpha}$$

Dengan:

x_{OD} = jarak terjauh dari titik asal (m)

Contoh Soal

Sebuah benda ditembakkan ke atas pada bidang miring dengan kecepatan awal $v_0 = 20 \text{ m/s}$, sudut elevasi terhadap bidang miring $\beta = 30^\circ$, dan bidang miring membentuk sudut $\alpha = 20^\circ$ terhadap horizontal. Hitunglah ketinggian maksimum yang dicapai benda terhadap sumbu Y bidang miring! (Gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$)

Pembahasan:

Gunakan rumus ketinggian maksimum pada bidang miring:

$$y_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{2g \cos \alpha}$$

Diketahui:

$$v_0 = 20 \text{ m/s}$$

$$\beta = 30^\circ \Rightarrow \sin 30^\circ = \frac{1}{2}$$

$$\alpha = 20^\circ \Rightarrow \cos 20^\circ \approx 0,94$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$y_{\text{maks}} = \frac{(20)^2 \cdot (\sin 30^\circ)^2}{2 \cdot 10 \cdot \cos 20^\circ}$$

$$= \frac{400 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2}{20 \cdot 0,94}$$

$$= \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{18,8}$$

$$= \frac{100}{18,8} \approx 5,32 \text{ m}$$

Maka, ketinggian maksimum yang dicapai benda pada bidang miring adalah sekitar 5,32 meter.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Tahukah kamu? Gerak parabola pada bidang miring lebih rumit daripada gerak parabola biasa, tapi justru lebih banyak digunakan di dunia nyata! Banyak lintasan benda dalam kehidupan nyata, seperti bola yang ditembak dari meriam ke bukit, atau batu yang meluncur ke lereng, tidak terjadi di tanah datar, tapi di atas permukaan miring. Inilah mengapa konsep ini penting dalam rancangan lintasan peluru, game simulasi fisika, bahkan desain wahana roller coaster!

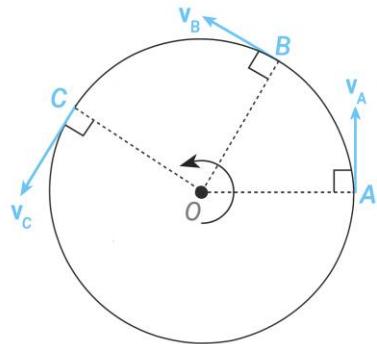


Wahana roller coaster – Wikipedia.org



6. Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar beraturan adalah jenis gerak yang dilakukan oleh suatu partikel atau benda ketika menempuh lintasan berbentuk lingkaran dengan kecepatan linear yang tetap. Meskipun besar kecepatannya konstan, arah kecepatannya senantiasa berubah karena selalu tangensial terhadap lintasan lingkaran. Gerak ini sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada roda sepeda yang berputar, baling-baling kipas angin, jarum jam, kincir angin, permainan bianglala, dan planet-planet yang mengorbit Matahari.



Ilustrasi Vektor Kecepatan dalam Gerakan Melingkar – Ilustrasi Penerbit

Dalam konteks fisika, lintasan lingkaran yang ditempuh partikel disebut orbit. Ketika sebuah benda bergerak melingkar beraturan (GMB), maka besar kecepatan linear tetap, namun arah kecepatan (vektor kecepatan) akan selalu berubah-ubah tergantung posisi benda di lintasan. Seperti ditunjukkan pada gambar, kecepatan benda di titik-titik A, B, dan C memiliki arah berbeda, meskipun besar kecepatannya sama. Hal ini disebabkan oleh sifat dasar gerak melingkar, di mana arah kecepatan selalu tegak lurus terhadap jari-jari lingkaran dan mengarah ke arah gerak.

Besaran-Besaran pada Gerak Melingkar Beraturan

Agar dapat memahami gerak melingkar secara kuantitatif, kita perlu mengenal besaran-besaran utama yang menyertainya, yaitu periode dan frekuensi. Kedua besaran ini saling berkaitan dan menggambarkan bagaimana benda menyelesaikan satu atau lebih putaran dalam waktu tertentu.

a. Periode (T)

Periode adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk menyelesaikan satu kali putaran penuh dalam lintasan melingkar. Dengan kata lain, periode menunjukkan lamanya satu siklus gerak terjadi. Satuan periode dalam Sistem Internasional (SI) adalah detik (second/s), namun dalam praktik, satuan lain seperti menit, jam, atau hari juga dapat digunakan tergantung konteksnya. Hubungan antara periode, waktu total, dan jumlah putaran dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{t}{n}$$

Dengan:

T = periode (s)

t = waktu total benda berputar (s)

n = jumlah putaran

b. Frekuensi (f)

Frekuensi menyatakan seberapa banyak putaran yang dapat dilakukan oleh suatu benda dalam satuan waktu. Frekuensi juga menggambarkan kecepatan siklus atau repetisi dalam suatu gerak melingkar. Satuan frekuensi dalam SI adalah hertz (Hz), di mana 1 Hz berarti 1 putaran per detik. Untuk frekuensi yang tinggi, satuan lain seperti kilohertz (kHz = 10^3 Hz) atau megahertz (MHz = 10^6 Hz) dapat digunakan. Frekuensi dirumuskan sebagai berikut:

$$f = \frac{n}{t}$$

Dengan:

f = frekuensi (Hz)

t = waktu total berputar (s)

n = jumlah putaran

c. Hubungan Periode dan Frekuensi

Periode dan frekuensi saling berkaitan secara matematis, karena keduanya menjelaskan aspek waktu dan jumlah putaran dari gerak melingkar. Hubungan ini dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{atau} \quad f = \frac{1}{T}$$

d. Kecepatan Sudut (ω)

Kecepatan sudut adalah besaran yang menyatakan seberapa cepat suatu benda berputar dalam lintasan melingkar, yaitu besar sudut yang ditempuh oleh jari-jari lintasan dalam satu satuan waktu. Dengan kata lain, kecepatan sudut mengukur banyaknya radian yang dilalui per detik. Satuan kecepatan sudut dalam Sistem Internasional (SI) adalah radian per detik (rad/s).

Untuk memahami konsep ini, kita perlu mengenal satuan sudut dalam radian. Satu radian di definisikan sebagai sudut pusat yang terbentuk ketika panjang busur lingkaran sama dengan panjang jari-jarinya. Misalnya, jika busur AB memiliki panjang yang sama dengan jari-jari R, maka sudut $\angle AOB$ bernilai 1 radian.

Lebih lanjut, jika suatu sudut pusat bernilai n radian, maka panjang busurnya adalah nr . Mengingat keliling lingkaran adalah $2\pi r$, maka satu putaran penuh (360°) setara dengan 2π radian. Dengan demikian, konversi antara derajat dan radian dapat dihitung sebagai berikut:

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad} \Rightarrow 1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,32^\circ$$

Konversi sudut umum ke dalam radian adalah:

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

$$30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

$$60^\circ = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

$$90^\circ = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$180^\circ = \pi \text{ rad}$$

Setelah memahami konversi sudut, kita dapat menentukan kecepatan sudut dengan menggunakan periode atau frekuensi dari gerak. Karena satu putaran penuh setara dengan sudut 2π radian, maka kecepatan sudut ω dapat dirumuskan sebagai:

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

Dengan:

ω = kecepatan sudut (rad/s)

T = periode (s)

f = frekuensi (Hz)

Rumus tersebut menunjukkan bahwa semakin cepat sebuah benda menyelesaikan satu putaran (semakin kecil periode atau semakin besar frekuensinya), maka semakin besar pula kecepatan sudutnya.

Dalam gerak melingkar beraturan, nilai kecepatan sudut tetap karena sudut yang ditempuh dalam setiap satuan waktu selalu sama. Satuan frekuensi atau jumlah putaran per waktu biasanya dinyatakan dalam rpm (*rotation per minute*) atau putaran per menit, dan dapat diubah menjadi radian per sekon. Sebagai contoh, jika sebuah partikel berputar dengan kecepatan 300 rpm, maka kecepatan sudutnya dapat dihitung sebagai:

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{300}{60} = 10\pi \text{ rad/s}$$

Konversi satu putaran ke dalam satuan radian juga penting untuk diketahui:

$$1 \text{ putaran} = 360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

$$\frac{1}{2} \text{ putaran} = \pi \text{ rad}$$

$$\frac{1}{4} \text{ putaran} = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$\frac{3}{4} \text{ putaran} = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$$

Dalam gerak melingkar beraturan, besar sudut yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak dari titik A ke titik B dalam waktu tertentu sangat bergantung pada kecepatan sudutnya. Jika sebuah benda bergerak dengan kecepatan sudut ω dan membutuhkan waktu t sekon untuk berpindah dari satu titik ke titik lain pada lintasan melingkar, maka besar sudut yang ditempuh dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\theta = \omega t$$

Dengan:

θ = sudut yang ditempuh (radian),

ω = kecepatan sudut (rad/s),

t = waktu tempuh (s),

f = frekuensi (Hz),

T = periode (s).

Persamaan ini menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan sudut, maka semakin cepat sudut yang ditempuh benda pada lintasan melingkar.

e. Kelajuan Linear (v)

Kelajuan linear adalah ukuran jarak yang ditempuh oleh suatu benda sepanjang lintasan melingkar dalam satu satuan waktu. Dalam konteks gerak melingkar beraturan, kelajuan linear menggambarkan seberapa cepat benda bergerak sepanjang keliling lingkaran. Karena dalam satu putaran penuh benda menempuh panjang lintasan sebesar keliling lingkaran $2\pi r$, dan waktu yang dibutuhkan adalah satu periode T , maka kelajuan linear dapat dituliskan sebagai:

$$v = \frac{\text{Panjang lintasan satu putaran}}{\text{Waktu tempuh satu putaran}} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$$

Dengan:

v = kelajuan linear (m/s),

r = jari-jari lintasan (m),

T = periode (s),

f = frekuensi putaran (Hz).

Gerak melingkar melibatkan perubahan arah terus-menerus, maka vektor kecepatan linear \vec{v} selalu tegak lurus terhadap jari-jari lingkaran. Arah vektor kecepatan ini senantiasa bersinggungan dengan sisi lingkaran di setiap titik lintasan.

Selanjutnya, hubungan antara kelajuan linear dan kecepatan sudut dapat dirumuskan sebagai:

$$v = \omega r$$

Dengan:

ω = kecepatan sudut (rad/s),

r = jari-jari lingkaran (m),

v = kelajuan linear (m/s).

Rumus ini menunjukkan bahwa kelajuan linear akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan sudut maupun panjang jari-jari lintasan.

Contoh Soal

Sebuah roda mesin berputar secara beraturan dengan frekuensi 5 Hz. Hitunglah kecepatan sudut roda tersebut dalam satuan radian per sekon (rad/s)!

Pembahasan:

Diketahui:

Frekuensi putaran: $f = 5$ Hz

Gunakan rumus hubungan antara kecepatan sudut dan frekuensi:

$$\omega = 2\pi f$$

Substitusi nilai:

$$\omega = 2\pi \cdot 5 = 10\pi \text{ rad/s}$$

Jika dibutuhkan nilai desimal:

$$\omega \approx 10 \cdot 3,14 = 31,4 \text{ rad/s}$$

Maka, kecepatan sudut roda adalah 10π rad/s atau sekitar 31,4 rad/s.

Percepatan Sentripetal

Dalam gerak melingkar beraturan, meskipun kelajuan linear suatu benda tetap, arah kecepatannya selalu berubah. Perubahan arah ini memunculkan percepatan yang dikenal sebagai percepatan sentripetal. Percepatan ini selalu mengarah menuju pusat lingkaran dan bertanggung jawab untuk mempertahankan gerak melingkar benda. Percepatan sentripetal berperan penting untuk mengubah arah gerakan benda secara terus-menerus, tanpa mengubah besar kecepatannya. Dengan kata lain, meskipun benda tidak mengalami percepatan dalam arti peningkatan kecepatan, namun arah kecepatannya berubah akibat gaya yang bekerja ke arah pusat.

a. Percepatan Sesaat

Dalam gerak melingkar beraturan, arah kecepatan linear senantiasa berubah walaupun besar kecepatannya tetap. Perubahan arah ini menandakan adanya percepatan, yang disebut sebagai **percepatan sesaat**. Jika selang waktu Δt semakin kecil mendekati nol, maka titik awal dan akhir lintasan menjadi sangat dekat dan perubahan kecepatan Δv juga sangat kecil. Meskipun demikian, hasil bagi antara Δv dan Δt akan menghasilkan nilai tertentu, yang disebut percepatan sesaat. Rumus percepatan sesaat diturunkan sebagai berikut:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{v}{r} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \right)$$

$$= \frac{v}{r} \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$= \frac{v}{r} \cdot v$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$



Komidi putar merupakan contoh percepatan sentripetal – Wikipedia.org

b. Arah Percepatan Sesaat dan Percepatan Sentripetal

Arah percepatan sesaat dapat ditentukan dengan menganalisis arah perubahan kecepatan. Ketika dua titik pada lintasan mendekati satu sama lain, arah perubahan kecepatan Δv akan tegak lurus terhadap arah kecepatan linear v . Karena percepatan searah dengan Δv , maka percepatan juga mengarah ke pusat lingkaran. Percepatan yang selalu mengarah ke pusat lingkaran ini disebut percepatan sentripetal, dan dirumuskan sebagai:

$$a_s = \frac{v^2}{r}$$

Dengan:

r = jari-jari lintasan (m),

v = kecepatan linear (m/s),

a_s = percepatan sentripetal (m/s²).

c. Hubungan Percepatan Sentripetal dengan Kecepatan Sudut

Karena kecepatan linear v dapat dinyatakan sebagai $v = \omega r$, maka rumus percepatan sentripetal juga dapat dituliskan sebagai:

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \frac{(\omega r)^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r$$

Dengan:

ω = kecepatan sudut (rad/s),

r = jari-jari lintasan (m),

a_s = percepatan sentripetal (m/s²).

Percepatan sentripetal adalah percepatan yang selalu tegak lurus terhadap kecepatan linear dan selalu mengarah ke pusat lingkaran. Nilainya sebanding dengan kuadrat kecepatan linear atau kuadrat

kecepatan sudut dikalikan jari-jari lintasan. Ini menunjukkan bahwa percepatan sentripetal bergantung langsung pada kecepatan gerak benda dalam lintasan melingkar.

Contoh Soal

Sebuah mobil mainan bergerak melingkar dengan kecepatan linear 6 m/s pada lintasan yang memiliki jari-jari 3 meter. Hitunglah percepatan sentripetal yang dialami mobil tersebut!

Pembahasan:

Diketahui:

Kecepatan linear $v = 6 \text{ m/s}$

Jari-jari lintasan $r = 3 \text{ m}$

Gunakan rumus percepatan sentripetal:

$$a_s = \frac{v^2}{r}$$

Substitusi nilai:

$$a_s = \frac{6^2}{3} = \frac{36}{3} = 12 \text{ m/s}^2$$

Maka, percepatan sentripetal yang dialami mobil adalah 12 m/s^2 .

Hubungan Roda-Roda

Gerak melingkar beraturan dapat dipindahkan dari satu roda ke roda lainnya. Pemindahan ini bisa dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Misalnya, roda yang berputar terhadap porosnya dapat menggerakkan roda lain dengan cara bersinggungan langsung, terhubung poros, atau melalui rantai/tali.

a. Pemindahan Gerak Melingkar Beraturan Secara Langsung

Jika dua roda saling bersinggungan, maka kecepatan linear pada titik singgung kedua roda adalah sama besar. Artinya, roda pertama dapat memutar roda kedua secara langsung, dan arah putarnya akan berlawanan. Persamaan yang berlaku adalah:

$$V_A = V_B$$

$$\omega_A r_A = \omega_B r_B$$

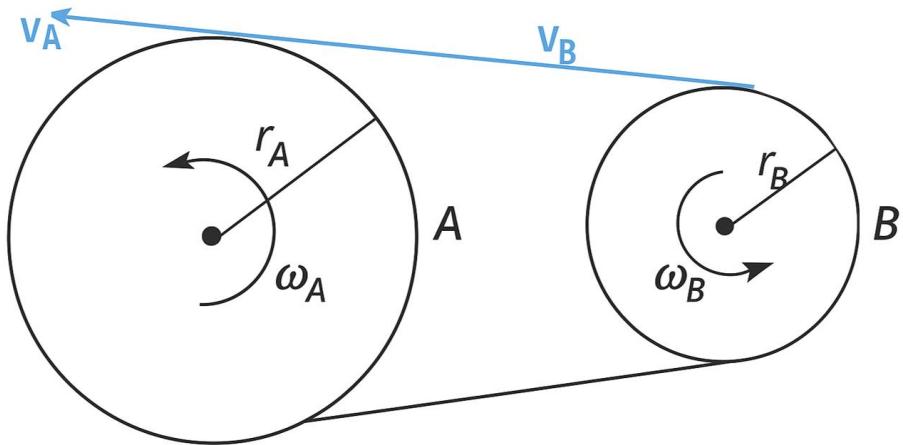
b. Pemindahan Gerak Melingkar Beraturan dengan Satu Poros

Jika dua roda memiliki poros yang sama dan berputar bersama, maka saat salah satu roda menyelesaikan satu putaran penuh, roda lainnya juga menyelesaikan satu putaran penuh. Kecepatan sudut kedua roda akan sama, namun kecepatan linear dan jari-jari bisa berbeda. Persamaan yang berlaku adalah:

$$\omega_A = \omega_B$$

$$\frac{V_A}{r_A} = \frac{V_B}{r_B}$$

c. Pemindahan Gerak Melingkar Beraturan secara Tidak Langsung



ilustrasi Roda A dan B dihubungkan oleh rantai dan memiliki arah putar yang searah – Ilustrasi Penerbit

Jika dua roda dihubungkan oleh rantai atau tali, maka kecepatan linear kedua roda tetap sama besar dan arah putarannya searah. Ini sering ditemukan pada sistem transmisi sepeda atau mesin. Persamaan yang digunakan adalah:

$$V_A = V_B$$

$$\omega_A r_A = \omega_B r_B$$

Dengan:

V_A = kecepatan linear roda A (m/s)

V_B = kecepatan linear roda B (m/s)

ω_A = kecepatan sudut roda A (rad/s)

ω_B = kecepatan sudut roda B (rad/s)

r_A = jari-jari roda A (m)

r_B = jari-jari roda B (m)

Kegiatan Kelompok 2

Eksperimen GMB dengan Benda Berputar

Tujuan: Memahami konsep gerak melingkar beraturan melalui praktik langsung, mengamati hubungan antara kecepatan sudut, kecepatan linear, periode, frekuensi, dan percepatan sentripetal, serta melatih keterampilan kerja kelompok, observasi, dan analisis data.

a. Persiapan Alat dan Bahan

Setiap kelompok menyiapkan:

- 1) Stopwatch
- 2) Benang/kabel kecil (± 50 –100 cm)
- 3) Bandul/pemberat (bisa menggunakan batu kecil atau benda logam ringan)
- 4) Penggaris/meteran
- 5) Kertas dan pulpen/pensil untuk mencatat

- 6) Kalkulator (opsional)

b. Petunjuk Eksperimen

- 1) Rakit alat percobaan: Ikatkan bandul pada salah satu ujung benang. Pegang ujung lainnya dan putar bandul secara horizontal sehingga bergerak melingkar (seperti gasing horizontal).
- 2) Ukur jari-jari lintasan: Ukur panjang benang dari tangan ke bandul saat berputar. Ini akan menjadi jari-jari lingkaran (r).
- 3) Hitung periode dan frekuensi:
Putar bandul secara stabil dan ukur waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan 10 putaran.
- 4) Hitung periode (T) dan frekuensi (f) menggunakan rumus:

$$T = \frac{t}{n}, \quad f = \frac{n}{t}$$

- 5) Hitung kecepatan sudut dan kecepatan linear:

Gunakan rumus:

$$\omega = 2\pi f, \quad v = \omega r$$

- 6) Hitung percepatan sentripetal:

Gunakan rumus:

$$a_s = \frac{v^2}{r} \text{ atau } a_s = \omega^2 r$$

c. Tugas Kelompok

Setiap kelompok mencatat hasil pengukuran dan perhitungan dan membuat laporan berisi:

- 1) Tujuan percobaan
- 2) Langkah-langkah
- 3) Data pengamatan (r, t, n)
- 4) Hasil perhitungan (T, f, ω, v, a_s)
- 5) Analisis singkat dan kesimpulan

d. Presentasi dan Diskusi

- 1) Tiap kelompok mempresentasikan hasil dan kesimpulan mereka.
- 2) Diskusikan faktor-faktor yang memengaruhi hasil, seperti kesulitan menjaga gerak tetap melingkar, ketidakakuratan waktu, dll.

e. Alternatif Aktivitas:

Jika ruang terbatas atau tidak memungkinkan percobaan fisik, kelompok dapat:

- 1) Melakukan simulasi online menggunakan platform seperti PhET (simulasi gerak melingkar).
- 2) Menganalisis video eksperimen dan menghitung besaran-besaran GMB berdasarkan data yang ditampilkan.

Rangkuman

1) Konsep Gerak

Kinematika mempelajari gerakan benda tanpa membahas penyebabnya. Benda dikatakan bergerak jika posisinya berubah terhadap titik acuan dalam waktu tertentu. Besaran penting dalam gerak meliputi jarak (skalar), perpindahan (vektor), kelajuan (tanpa arah), kecepatan (berarah), dan percepatan (perubahan kecepatan per waktu). Tiga rumus penting dalam konsep dasar ini adalah:

$$\text{Kelajuan} = \frac{\text{Jarak}}{\text{Waktu}}$$

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{Perpindahan}}{\text{Waktu}}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

2) Gerak Lurus Beraturan

Gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap, sehingga besar perpindahan selalu sama pada setiap interval waktu. Dalam grafik $v-t$, gerak ini berbentuk garis horizontal, dan grafik $s-t$ berupa garis lurus bergradien tetap. Gradien grafik menyatakan kecepatan. Beberapa rumus penting untuk GLB adalah:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\tan \theta = \frac{s}{t} = v$$

$$s = s_0 + vt$$

3) Gerak Lurus Berubah Beraturan

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) terjadi ketika benda mengalami percepatan tetap, sehingga kecepatannya berubah secara teratur. Jika kecepatannya meningkat, disebut dipercepat; jika menurun, disebut diperlambat. Perubahan ini dinyatakan dalam rumus-rumus berikut:

$$v_t = v_0 + at$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

4) Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak benda yang dijatuhkan tanpa kecepatan awal, sehingga hanya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi. Gerak ini termasuk GLBB dipercepat. Kecepatan benda bertambah seiring waktu dan mengikuti rumus-rumus berikut:

$$v_t = gt$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$v_t^2 = 2gy$$

5) Gerak Parabola

Gerak parabola adalah gabungan GLB pada sumbu X dan GLBB pada sumbu Y, terjadi ketika benda dilempar dengan sudut terhadap arah horizontal. Gerakan ini membentuk lintasan melengkung simetris.

Komponen kecepatan horizontal tetap, sedangkan komponen vertikal berubah karena gravitasi. Rumus penting dalam gerak parabola meliputi:

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$x_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

6) Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar beraturan (GMB) terjadi saat benda bergerak di lintasan lingkaran dengan kelajuan tetap. Meskipun besar kecepatannya konstan, arah kecepatan terus berubah, menghasilkan percepatan sentripetal yang mengarah ke pusat lingkaran. Besaran-besaran penting dalam GMB meliputi frekuensi, kecepatan sudut, kelajuan linear, dan percepatan sentripetal, dengan rumus:

$$\omega = 2\pi f$$

$$v = \omega r$$

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Latihan Soal

1. Sebuah mobil bergerak lurus dengan kecepatan tetap 20 m/s selama 8 sekon. Jarak yang ditempuh mobil selama waktu tersebut adalah ...
 - 80 m
 - 120 m
 - 140 m
 - 160 m
 - 180 m
2. Sebuah benda mula-mula diam, kemudian dipercepat secara tetap sehingga dalam waktu 4 sekon kecepatannya menjadi 16 m/s. Besar percepatan yang dialami benda adalah ...
 - 2 m/s^2
 - 3 m/s^2
 - 4 m/s^2
 - 5 m/s^2
 - 6 m/s^2
3. Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian 80 meter tanpa kecepatan awal. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 , waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai tanah adalah ...
 - 2 s
 - 3 s
 - 4 s
 - 5 s
 - 6 s
4. Mobil A dan mobil B bergerak saling mendekat dengan kecepatan masing-masing 60 km/jam dan 90 km/jam. Jika jarak awal mereka 450 km, waktu yang diperlukan agar mereka bertemu adalah ...
 - 2 jam
 - 3 jam
 - 4 jam
 - 5 jam
 - 6 jam
5. Sebuah benda dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 , maka ketinggian maksimum yang dapat dicapai benda adalah ...
 - 10 m
 - 15 m
 - 20 m
 - 30 m
 - 40 m

6. Dalam waktu 3 detik, sebuah benda menempuh jarak 18 meter dari keadaan diam. Maka besar percepatan benda tersebut adalah ...
- A. 2 m/s^2
 - B. 3 m/s^2
 - C. 4 m/s^2
 - D. 5 m/s^2
 - E. 6 m/s^2
7. Perahu mula-mula bergerak dengan kecepatan tetap 10 m/s . Kemudian dalam waktu 5 detik, kecepatannya turun menjadi 0 karena mesin dimatikan. Percepatan yang dialami perahu selama melambat adalah ...
- A. -1 m/s^2
 - B. -2 m/s^2
 - C. -3 m/s^2
 - D. -4 m/s^2
 - E. -5 m/s^2

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!



Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 2

Referensi

- Giancoli, D. C. (2005). Physics: Principles with applications (6th ed.). Pearson Education.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). Physics for scientists and engineers with modern physics (9th ed.). Brooks Cole.
- Suparno, P. (2008). Konsep dasar fisika 1: Mekanika dan termodinamika. Universitas Sanata Dharma Press.
- Sutrisno, H. (2020). Fisika SMA/MA kelas X kurikulum Merdeka. Yrama Widya.
- Yulianti, N., & Widodo, S. (2021). Fisika untuk SMA/MA kelas X kurikulum 2013 revisi 2017. Pusat Kurikulum dan Perbukuan, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- University of Colorado Boulder. (2024). PhET interactive simulations. <https://phet.colorado.edu/>



BAB 3: DINAMIKA GERAK

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong, Kreatif, Mandiri

Kata Kunci: Gaya berat, Gaya gesek, Gaya sentripetal, Gaya gravitasi, Hukum Newton, Hukum Kepler, Gerak planet, Kuat medan gravitasi, Analisis gaya.

Tujuan Pembelajaran: Mengidentifikasi Jenis-Jenis Gaya pada Benda

- 1. Mengidentifikasi jenis-jenis gaya seperti gaya berat, gesek, sentripetal, dan gravitasi yang memengaruhi dinamika gerak lurus**
 - ▷ Menjelaskan bagaimana masing-masing gaya bekerja pada benda dalam lintasan lurus.
 - ▷ Memberikan contoh pengaruh gaya-gaya tersebut dalam kehidupan sehari-hari.
- 2. Menelaah prinsip dasar dinamika gerak lurus untuk menyelesaikan persoalan kontekstual dalam kehidupan nyata**
 - ▷ Menghubungkan hukum Newton dengan fenomena gerak benda di sekitar kita.
 - ▷ Menggunakan analisis gaya untuk memahami gerak benda secara sistematis.
- 3. Mengevaluasi konsep gaya gesek melalui kegiatan eksperimen dan penalaran logis**

- ▷ Melakukan percobaan untuk mengetahui faktor yang memengaruhi gaya gesek.
- ▷ Membuat prediksi terhadap perubahan gerak akibat gesekan berdasarkan data pengamatan.

4. Merancang penyelesaian masalah fisis berdasarkan kasus nyata dalam dinamika gerak lurus

- ▷ Menyusun langkah-langkah penyelesaian masalah berbasis gaya dan hukum Newton.
- ▷ Mengidentifikasi variabel-variabel penting dalam penyelesaian soal dinamika.

5. Menunjukkan pemahaman tentang gaya-gaya yang bekerja pada benda menggunakan hukum-hukum Newton

- ▷ Menjelaskan hubungan antara gaya total, massa, dan percepatan.
- ▷ Menyusun penjelasan kualitatif tentang gaya berat, gesek, sentripetal, dan gravitasi..

6. Menjelaskan keterkaitan antara hukum Kepler tentang gerak planet dan hukum Newton tentang gravitasi

- ▷ Menganalisis orbit planet menggunakan pendekatan hukum Kepler dan Newton.
- ▷ Menggambarkan hubungan antara gaya gravitasi dan lintasan elips planet.

F I T R I



1. Hubungan Gaya dan Gerak Benda

Dinamika adalah cabang ilmu fisika yang mengkaji penyebab gerak suatu benda. Misalnya, ketika buah kelapa jatuh dari pohon atau batu menggelinding di bidang miring, tentu ada gaya yang menyebabkan benda-benda tersebut bergerak. Dalam dinamika partikel, gaya merupakan faktor utama yang memengaruhi gerak. Berbagai jenis gaya dalam fisika antara lain gaya berat, gaya tarik, gaya gesek, gaya normal, gaya sentripetal, gaya pegas, gaya tegangan tali, gaya elektrostatik, dan gaya Lorentz. Untuk memahami bagaimana gaya memengaruhi gerak benda, kita akan mempelajari tiga hukum Newton yang mendasari semua pembahasan dinamika partikel.

Hukum I Newton (Hukum Kelembaman)

Hukum I Newton menjelaskan bahwa benda akan mempertahankan keadaannya, baik tetap diam maupun bergerak lurus beraturan, selama tidak ada gaya yang bekerja padanya. Fenomena ini disebut kelembaman atau inersia. Contohnya saat mobil tiba-tiba bergerak, tubuh kita ter dorong ke belakang. Sebaliknya, jika mobil tiba-tiba berhenti, tubuh kita ter dorong ke depan. Hal ini menunjukkan kecenderungan benda untuk mempertahankan keadaan sebelumnya.



Ilustrasi kejadian rem mendadak yang menyebabkan badan terdorong ke depan – Shutterstock.com.1645570921

Secara matematis, hukum ini dinyatakan dalam bentuk:

$$\sum F = 0$$

Dengan:

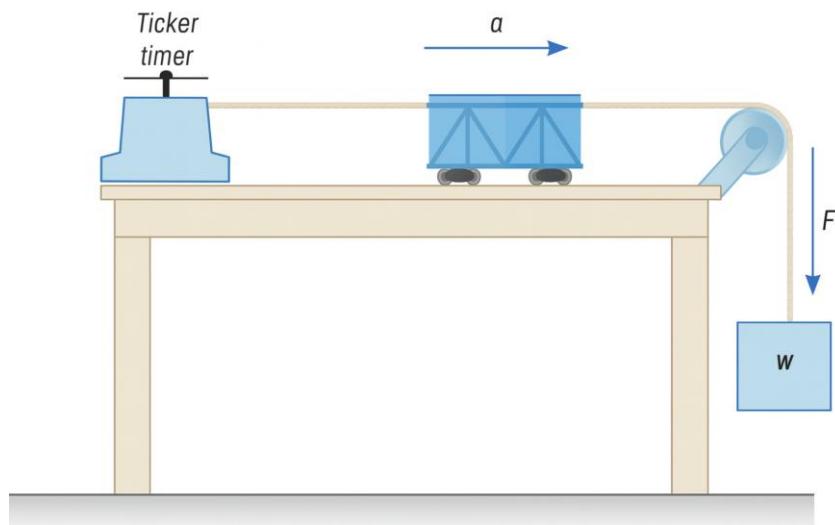
$$\sum F = \text{resultan gaya}(N)$$

Jika resultan gaya sama dengan nol, benda yang diam akan tetap diam, dan benda yang bergerak lurus beraturan akan terus bergerak lurus beraturan. Oleh karena itu, hukum ini disebut juga hukum kelembaman karena setiap benda cenderung mempertahankan posisinya terhadap perubahan.

Contoh sederhananya adalah apabila kita meletakkan kelereng di atas selembar kertas, ketika kertas ditarik cepat, kelereng tetap berada di tempat semula karena inersia. Namun, jika kertas ditarik perlahan, kelereng akan ikut tertarik karena sempat mengalami perubahan kecepatan.

Hukum II Newton (Hukum tentang Percepatan)

Hukum II Newton menjelaskan bagaimana gaya yang bekerja pada sebuah benda dapat menyebabkan benda tersebut mengalami percepatan. Gaya yang tidak seimbang akan mengubah kecepatan gerak suatu benda. Percobaan menggunakan kereta dinamika dan *ticker timer* memperlihatkan bahwa percepatan benda bergantung pada besar gaya dan massa benda.



Ilustrasi percobaan menggunakan *ticker timer* – Ilustrasi Penerbit

Percobaan tersebut menunjukkan bahwa:

- 1) Percepatan berbanding lurus dengan gaya ($a \propto F$)
- 2) Percepatan berbanding terbalik dengan massa ($a \propto \frac{1}{m}$)

Secara matematis, hukum ini dinyatakan sebagai:

$$a = \frac{\sum F}{m} \quad \text{atau} \quad \sum F = ma$$

Dengan:

$\sum F$ = resultan gaya (N)

m = massa benda (kg)

a = percepatan benda (m/s^2)

a. Satuan Gaya

Satuan gaya dalam sistem SI adalah Newton (N), di mana 1 N adalah gaya yang dapat memberikan percepatan $1 m/s^2$ pada benda bermassa 1 kg.

Jika dua gaya bekerja searah pada suatu benda, maka persamaannya menjadi:

$$F_1 + F_2 = ma$$

b. Komponen Gaya

Jika gaya F bekerja membentuk sudut θ terhadap bidang horizontal, gaya ini dapat diuraikan menjadi dua komponen:

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F_y = F \sin \theta$$

Komponen F_x adalah gaya yang menyebabkan benda bergerak secara horizontal, sehingga persamaan hukum II Newton menjadi:

$$F \cos \theta = ma$$

Contoh Soal

Sebuah balok bermassa 10 kg ditarik oleh sebuah gaya sebesar 50 N yang membentuk sudut 30° terhadap bidang horizontal. Jika balok tersebut bergerak di atas bidang datar licin (tanpa gesekan), berapakah percepatan balok tersebut?

Pembahasan:

Diketahui:

Massa balok $m = 10 \text{ kg}$

Gaya total $F = 50 \text{ N}$

Sudut terhadap horizontal $\theta = 30^\circ$

Permukaan licin = tidak ada gesekan

Gaya gravitasi $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Ambil komponen horizontal dari gaya:

$$F_x = F \cos \theta = 50 \cos 30^\circ$$

Karena $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,866$, maka:

$$F_x = 50 \times 0,866 = 43,3 \text{ N}$$

Gunakan Hukum II Newton:

$$\begin{aligned} a &= \frac{F_{\text{net}}}{m} = \frac{F_x}{m} \\ &= \frac{43,3}{10} = 4,33 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Jawaban: Percepatan balok adalah $4,33 \text{ m/s}^2$.

Hukum III Newton (Hukum Aksi-Reaksi)

Hukum III Newton menyatakan bahwa setiap gaya aksi akan diiringi oleh gaya reaksi yang besarnya sama namun arahnya berlawanan. Gaya aksi dan reaksi selalu terjadi dalam pasangan dan bekerja pada dua benda yang berbeda. Contohnya, saat seseorang berdiri di atas papan beroda lalu menarik dinding dengan tali, orang dan papan akan bergerak mendekati dinding. Ini terjadi karena ketika ia menarik dinding (aksi), dinding juga memberikan gaya reaksi pada orang tersebut. Contoh lain adalah saat seseorang mendorong tembok dengan tangan. Ternyata, orang tersebut justru terdorong ke belakang. Ini menunjukkan bahwa gaya dorong yang dilakukan terhadap tembok dibalas dengan gaya dorong yang sama besar namun berlawanan arah dari tembok terhadap tubuh orang tersebut.

a. Benda yang Digantungkan dengan Tali

Ketika sebuah benda digantung menggunakan tali, terdapat beberapa gaya yang bekerja. Tali menarik benda ke atas dengan gaya tegangan, sedangkan benda mengalami gaya berat akibat gravitasi. Dalam situasi ini, gaya aksi adalah gaya tarik tali terhadap benda, sedangkan gaya reaksi adalah gaya yang diberikan benda terhadap tali. Gaya aksi dan reaksi memiliki besar yang sama,

tetapi bekerja pada dua benda yang berbeda dan arahnya berlawanan. Penting untuk diingat bahwa gaya-gaya yang membentuk pasangan aksi-reaksi tidak pernah bekerja pada benda yang sama.

b. Balok Diletakkan di Atas Meja

Saat sebuah benda diletakkan di atas permukaan, benda akan menekan permukaan tersebut dengan gaya berat akibat gravitasi. Sebagai reaksi, permukaan akan memberikan gaya normal ke arah berlawanan terhadap benda. Gaya berat yang bekerja pada benda berasal dari tarikan gravitasi Bumi (aksi), sedangkan gaya reaksi diberikan oleh benda terhadap Bumi. Demikian pula, gaya normal permukaan terhadap benda memiliki reaksi berupa gaya tekan benda terhadap permukaan. Semua pasangan aksi-reaksi selalu bekerja pada dua objek berbeda dan tidak pernah saling meniadakan karena tidak bekerja pada objek yang sama.

Massa adalah ukuran banyaknya materi dalam suatu benda. Besarnya massa tidak berubah di manapun benda berada, karena merupakan besaran skalar. Namun, berat benda dapat berubah tergantung pada kuatnya percepatan gravitasi di tempat itu. Gaya berat adalah gaya gravitasi yang dialami benda akibat tarikan Bumi. Semakin tinggi posisi suatu benda dari permukaan Bumi, semakin kecil percepatan gravitasinya, sehingga berat benda akan lebih kecil. Berat merupakan besaran vektor karena memiliki besar dan arah, dengan satuan SI yaitu Newton (N).

Secara matematis, berat benda dinyatakan dengan persamaan:

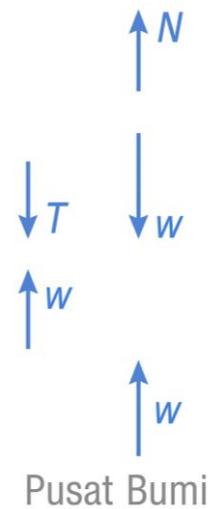
$$w = mg$$

dengan:

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

w = berat benda (N)



Fakta Fisika di Sekitarmu

Kita tetap "berat" di Bulan, tapi tidak seberat di Bumi!

Massa tubuhmu tidak berubah di mana pun kamu berada—baik di Bumi, Bulan, atau di luar angkasa. Tapi beratmu berubah karena gravitasi berbeda-beda. Di Bulan, gravitasi hanya sekitar 1/6 dari gravitasi Bumi, artinya jika beratmu di Bumi $60 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 588 \text{ N}$, maka di Bulan beratmu hanya sekitar 98 N! Kamu bisa melompat 6 kali lebih tinggi di sana!!



Astronaut yang sedang berada di bulan –
Shutterstock.com.1455489659



2. Peranan Gaya Gesek dalam Menentukan Gerakan Suatu Benda

Gaya gesek adalah gaya yang muncul akibat interaksi antara permukaan benda yang saling bersentuhan. Gaya ini selalu berlawanan arah dengan arah gerak benda atau kecenderungan geraknya. Dalam kehidupan sehari-hari, gaya gesek sangat umum ditemui, baik saat menarik benda di lantai, berjalan, hingga saat kendaraan bergerak di jalan. Permukaan kasar menghasilkan gaya gesek yang besar sehingga memperlambat atau menghambat gerakan benda, sedangkan permukaan licin menghasilkan gaya gesek kecil sehingga mempermudah benda untuk bergerak. Misalnya, sepatu roda akan lebih mudah meluncur di lantai licin dibanding di lantai kasar. Gaya gesek ini bisa berdampak positif maupun negatif tergantung konteks penggunaannya.

Dampak Negatif Gaya Gesek dalam Kehidupan



Kebakaran hutan akibat gesekan ranting kering saat kemarau – Shutterstock.com.1455489659

Gaya gesek kadang bisa menjadi hambatan yang menyebabkan kerugian, terutama dalam sistem mekanik. Misalnya, dalam mesin kendaraan seperti mobil dan motor, piston bergerak secara berulang dalam silinder. Gesekan yang terjadi antara dinding silinder dan piston dapat menyebabkan komponen mesin menjadi aus dan menurunkan efisiensi kerja mesin. Oleh karena itu, pelumas seperti oli diperlukan untuk mengurangi gesekan ini. Gesekan seperti ini dikategorikan sebagai gaya gesek yang merugikan.

Contoh lainnya adalah gesekan antara ban mobil dan jalan yang terlalu kasar, yang dapat mempercepat kerusakan ban.

Selain itu, gesekan antara ranting-ranting kering di hutan saat musim kemarau juga berpotensi memicu kebakaran. Semua kondisi ini menunjukkan bahwa gesekan, jika tidak dikendalikan, dapat menimbulkan dampak buruk.

Peran Positif Gaya Gesek dalam Aktivitas Sehari-hari

Meski dapat merugikan, gaya gesek juga sangat penting dan berguna dalam banyak situasi. Jalan raya dirancang agar tidak terlalu licin supaya kendaraan dapat berhenti dengan aman tanpa tergelincir. Gaya gesek pada ban kendaraan membantu menjaga stabilitas saat melaju atau mengerem.

Beberapa juga dalam dunia penerbangan, landasan pesawat tidak boleh terlalu licin agar pesawat tidak tergelincir saat mendarat. Ban kendaraan dan pesawat dirancang untuk memiliki gaya gesek yang cukup agar dapat berhenti dengan aman. Ini adalah contoh gaya gesek yang menguntungkan, yang peranannya sangat vital dalam menjaga keselamatan.

Gaya Gesek Statis

Ketika sebuah benda diam diletakkan di atas permukaan, dan ada gaya yang berusaha menggerakkannya, tetapi benda belum juga bergerak, maka yang bekerja adalah gaya gesek statis. Gaya ini melawan arah gaya luar dan berfungsi menjaga benda tetap dalam keadaan diam. Misalnya, sebuah balok kayu dengan berat w diletakkan di atas permukaan kasar. Gaya normal N akan bekerja ke atas, dan berat w ke bawah. Ketika gaya mendatar F diberikan, balok mungkin belum bergerak karena gaya gesek statis bekerja melawan arah gaya F .

Besarnya gaya gesek statis dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$f_s \leq f_{s \text{ maks}} = \mu_s N$$

dengan:

μ_s = koefisien gesek statis

N = gaya normal (N)

$f_{s \text{ maks}}$ = gaya gesek statis maksimum (N)

Jika gaya F diperbesar dan masih belum cukup menggerakkan benda, itu berarti $f_s < f_{s \text{ maks}}$. Namun jika gaya F mencapai atau melebihi $f_{s \text{ maks}}$, benda akan mulai bergerak.

Gaya Gesek Kinetik

Setelah benda mulai bergerak, gaya gesek yang bekerja bukan lagi gesek statis, melainkan gaya gesek kinetik. Gaya ini bekerja saat benda dalam keadaan bergerak relatif terhadap permukaan. Besarnya gaya gesek kinetik biasanya lebih kecil dibanding gaya gesek statis maksimum, sehingga benda yang sudah bergerak cenderung lebih mudah untuk terus bergerak.

Persamaan gaya gesek kinetik:

$$f_k = \mu_k N$$

dengan:

μ_k = koefisien gesek kinetik

N = gaya normal (N)

f_k = gaya gesek kinetik (N)

Karena $\mu_k < \mu_s$, maka secara umum $f_k < f_{s \text{ maks}}$. Inilah alasan mengapa setelah suatu benda mulai bergerak, gaya yang diperlukan untuk mempertahankan geraknya menjadi lebih kecil dibanding gaya awal yang dibutuhkan untuk menggerakkannya.

Contoh Soal

Sebuah lemari bermassa 50 kg berada diam di atas lantai kasar. Koefisien gesek statis antara lantai dan lemari adalah 0,4, sedangkan koefisien gesek kinetiknya adalah 0,3. Berapa gaya minimum yang harus diberikan secara mendatar agar lemari mulai bergerak? Jika gaya tersebut terus diberikan, berapa besar gaya gesek yang bekerja setelah lemari bergerak?

Pembahasan:

Langkah 1: Hitung gaya normal

Karena permukaan datar dan gaya diberikan mendatar: $N = w = mg = 50 \times 9,8 = 490 \text{ N}$

Langkah 2: Hitung gaya gesek statis maksimum

$$f_{s \text{ maks}} = \mu_s N = 0,4 \times 490 = 196 \text{ N}$$

Agar lemari mulai bergerak, gaya mendatar F harus sama dengan atau melebihi gaya gesek statis maksimum. Jadi:

$$F_{\min} = 196 \text{ N}$$

Langkah 3: Hitung gaya gesek kinetik setelah lemari bergerak

$$f_k = \mu_k N = 0,3 \times 490 = 147 \text{ N}$$

Jawaban:

Gaya minimum agar lemari mulai bergerak adalah 196 N

Gaya gesek yang bekerja setelah lemari bergerak adalah 147 N



3. Penerapan Hukum Newton dalam Berbagai Situasi Gerak

Gaya Normal pada Lift yang Bergerak Vertikal

Ketika seseorang berada dalam lift yang sedang bergerak vertikal, besar gaya normal atau gaya tekan dari lantai lift tidak selalu sama dengan berat orang tersebut. Nilai gaya normal akan berubah tergantung apakah lift bergerak ke atas atau ke bawah, dan apakah percepatannya konstan, meningkat, atau menurun.

a. Lift naik dengan kecepatan tetap

Jika lift naik dengan kecepatan tetap, percepatannya nol $a = 0$. Maka:

$$\sum F = 0$$

$$N - w = 0$$

$$N = w = mg$$

b. Lift naik dengan percepatan tetap

Lift naik dengan percepatan a , maka gaya normal akan lebih besar dari berat:

$$\sum F = ma$$

$$N - w = ma$$

$$N = w + ma$$

c. Lift turun dengan percepatan tetap

Ketika lift turun dengan percepatan, maka gaya normal lebih kecil dari berat:

$$\sum F = ma$$

$$w - N = ma$$

$$N = w - ma$$

d. Lift naik dengan perlambatan

Jika lift sedang naik tetapi melambat, maka arah percepatan berlawanan dengan arah gerak sehingga percepatannya negatif:

$$\sum F = ma$$

$$N - w = m(-a)$$

$$N = w - ma$$

Dengan:

m = massa orang (kg)

w = berat orang = mg (N)

N = gaya normal (N)

a = percepatan lift (m/s^2)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Sistem Benda Bertali yang Terhubung dengan Katrol

Dalam sistem yang melibatkan dua benda yang dihubungkan melalui tali dan katrol, analisis gaya dilakukan dengan mempertimbangkan gaya berat dan tegangan tali. Diasumsikan bahwa massa tali dan katrol diabaikan serta tali tidak meregang.

a. Tinjauan benda A

Jika $T_A > w_A$, maka benda A bergerak ke atas:

$$\sum F = ma$$

$$T_A - w_A = m_A a$$

$$T_A = w_A + m_A a$$

b. Tinjauan benda B

Jika $w_B > T_B$, maka benda B bergerak ke bawah:

$$\sum F = ma$$

$$w_B - T_B = m_B a$$

$$T_B = w_B - m_B a$$

c. Massa katrol diabaikan dan $T_A = T_B$:

$$T_A = T_B$$

$$w_A + m_A a = w_B - m_B a$$

$$m_A a + m_B a = w_B - w_A$$

$$(m_A + m_B)a = (m_B - m_A)g$$

Maka percepatan sistem:

$$a = \frac{(m_B - m_A)g}{m_A + m_B}$$

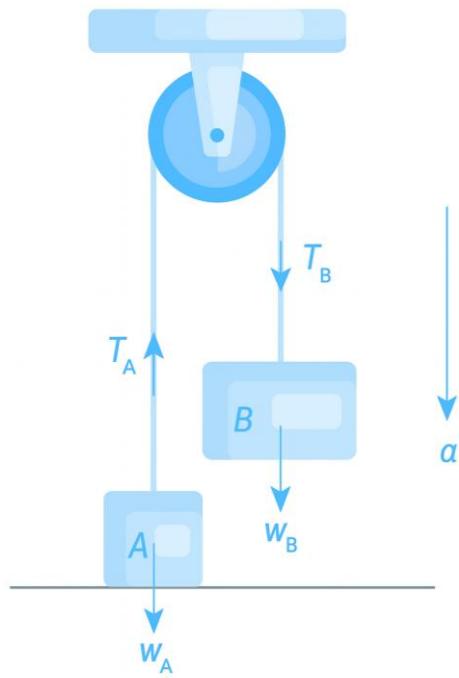
Dengan:

m_A, m_B = massa benda A dan B (kg)

w = berat masing-masing benda (N)

T_A, T_B = tegangan tali (N)

a : percepatan sistem (m/s^2)



Ilustrasi blok A dan B pada katrol yang dihubungkan dengan tali – Ilustrasi Penerbit

Analisis Gerak pada Bidang Datar Licin

Gerakan benda pada bidang datar licin menunjukkan bagaimana percepatan timbul akibat gaya total pada sumbu X, sementara pada sumbu Y benda dalam kondisi seimbang.

a. Gaya searah dengan perpindahan

Pada sumbu Y:

$$\sum F_y = 0$$

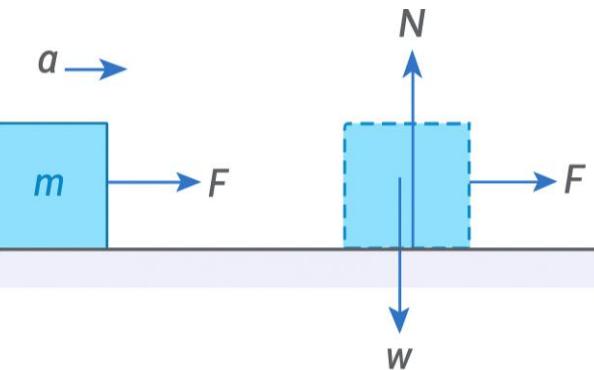
$$N - w = 0$$

$$N = w = mg$$

Pada sumbu X:

$$\sum F_x = ma$$

$$a = \frac{F}{m}$$



Ilustrasi Gaya F bekerja searah dengan arah gerak benda – Ilustrasi Penerbit

b. Gaya membentuk sudut terhadap perpindahan

Gaya F diuraikan menjadi komponen-komponen:

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F_y = F \sin \theta$$

Pada sumbu Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$N = w - F_y$$

$$N = w - F \sin \theta$$

Pada sumbu X:

$$\sum F_x = ma$$

$$F \cos \theta = ma$$

$$a = \frac{F \cos \theta}{m}$$

Gerak Benda pada Bidang Miring Licin

Ketika benda bermassa m diletakkan di bidang miring licin dan ditarik oleh gaya F , kita menganalisis arah sumbu Y dan X.

Pada sumbu Y (tegak lurus bidang):

$$\sum F_y = 0$$

$$N = w \cos \theta$$

Pada sumbu X (searah bidang):

$$\sum F_x = ma$$

$$F - w \sin \theta = ma$$

$$a = \frac{F - w \sin \theta}{m}$$

Dengan:

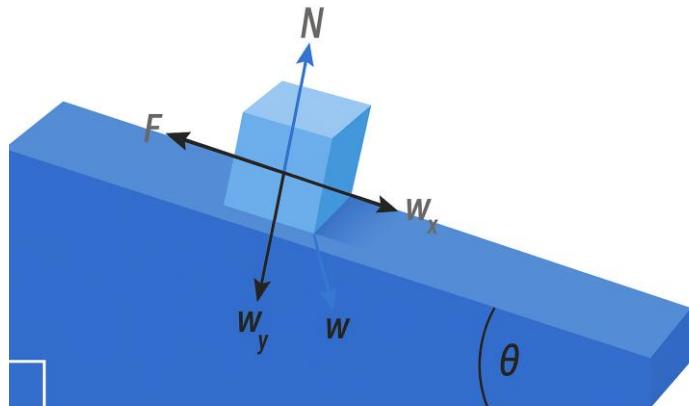
θ = sudut kemiringan bidang

w = berat benda

N = gaya normal

F = gaya luar

a = percepatan (m/s^2)



Ilustrasi gaya-gaya yang bekerja saat benda berada di bidang miring dan dikenai tarikan oleh gaya F – ilustrasi Penerbit

Gerak Benda pada Bidang Datar yang Kasar

Gesekan antara benda dan permukaan yang kasar memengaruhi percepatan benda. Gaya gesek kinetik akan menghambat gerak, sehingga perhitungannya perlu memperhitungkan gaya tersebut.

a. Arah Gaya Searah dengan Perpindahan

Pada sumbu Y, benda berada dalam keadaan setimbang:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - w = 0$$

$$N = w$$

Pada sumbu X, benda mengalami percepatan tetap:

$$\sum F_x = ma$$

$$F - f_k = ma$$

$$F - \mu_k N = ma$$

$$a = \frac{F - \mu_k N}{m}$$

b. Arah Gaya Membentuk Sudut terhadap Perpindahan

Jika gaya F membentuk sudut, maka gaya harus diuraikan ke dalam sumbu X dan Y.

Komponen-komponen gaya:

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F_y = F \sin \theta$$

Pada sumbu Y, benda tetap setimbang:

$$\sum F_y = 0$$

$$N + F_y - w = 0$$

$$N = w - F_y$$

$$N = w - F \sin \theta$$

Pada sumbu X, percepatan tetap:

$$\sum F_x = ma$$

$$F \cos \theta - f_k = ma$$

$$F \cos \theta - \mu_k N = ma$$

$$a = \frac{F \cos \theta - \mu_k N}{m}$$

Contoh Soal

Sebuah balok bermassa 8 kg ditarik oleh gaya 40 N yang membentuk sudut 37° terhadap arah horizontal pada permukaan datar yang kasar. Jika koefisien gesekan kinetik antara balok dan permukaan adalah 0,2, berapakah percepatan balok?

Pembahasan:

Langkah pertama adalah menghitung komponen gaya:

$$F_x = F \cos \theta = 40 \cos 37^\circ = 40 \times 0,7986 = 31,944 \text{ N}$$

$$F_y = F \sin \theta = 40 \sin 37^\circ = 40 \times 0,6018 = 24,072 \text{ N}$$

Berat benda:

$$w = mg = 8 \times 9,8 = 78,4 \text{ N}$$

Normal (gaya tekan permukaan):

$$N = w - F_y = 78,4 - 24,072 = 54,328 \text{ N}$$

Gaya gesek:

$$f_k = \mu_k N = 0,2 \times 54,328 = 10,8656 \text{ N}$$

Gunakan rumus percepatan:

$$\begin{aligned} a &= \frac{F \cos \theta - \mu_k N}{m} \\ &= \frac{31,944 - 10,8656}{8} \\ &= \frac{21,0784}{8} \\ &= 2,63 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Jawaban: Percepatan balok adalah $2,63 \text{ m/s}^2$.

Sistem Beberapa Benda yang Dihubungkan dengan Tali

a. Permukaan Licin

Dua balok, A dan B, dihubungkan tali dan diletakkan pada bidang licin. Gaya tarik bekerja pada balok B dan menyebabkan kedua benda bergerak bersamaan.

Gaya normal:

$$N_A = w_A = m_A g$$

$$N_B = w_B = m_B g$$

Untuk benda A:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma \\ T &= m_A a\end{aligned}$$

Untuk benda B:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma \\ F - T &= m_B a \\ T &= F - m_B a\end{aligned}$$

Substitusi:

$$\begin{aligned}F - m_B a &= m_A a \\ F &= m_A a + m_B a \\ a &= \frac{F}{m_A + m_B}\end{aligned}$$

b. Permukaan Kasar

Untuk benda A:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma \\ T - f_{kA} &= m_A a \\ T &= m_A a + \mu_{kA} N_A\end{aligned}$$

Untuk benda B:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma \\ F - T - f_{kB} &= m_B a \\ T &= F - \mu_{kB} N_B - m_B a\end{aligned}$$

Substitusi:

$$\begin{aligned}F - \mu_{kB} N_B - m_B a &= m_A a + \mu_{kA} N_A \\ F - \mu_{kB} N_B - \mu_{kA} N_A &= m_A a + m_B a \\ a &= \frac{F - \mu_{kB} N_B - \mu_{kA} N_A}{m_A + m_B}\end{aligned}$$

Gerak Benda dengan Katrol Tunggal

Benda A berada di bidang (horizontal/kasar/licin), sedangkan benda B tergantung bebas. Keduanya dihubungkan dengan tali melalui katrol.

a. Permukaan Licin

Untuk benda A:

$$\sum F = ma$$

$$T = m_A a$$

Untuk benda B:

$$\sum F = ma$$

$$w_B - T = m_B a$$

$$T = w_B - m_B a$$

$$T = m_B g - m_B a$$

Substitusi:

$$m_A a = m_B g - m_B a$$

$$m_A a + m_B a = m_B g$$

$$a = \frac{m_B g}{m_A + m_B}$$

b. Permukaan Kasar

Untuk benda A:

$$\sum F = ma$$

$$T - f_k = m_A a$$

$$T = m_A a + \mu_k N_A$$

Untuk benda B:

$$\sum F = ma$$

$$w_B - T = m_B a$$

$$T = m_B g - m_B a$$

Substitusi:

$$m_A a + \mu_k N_A = m_B g - m_B a$$

$$m_A a + \mu_k N_A + m_B a = m_B g$$

$$a = \frac{m_B g - \mu_k N_A}{m_A + m_B}$$

Pergerakan Benda yang Terhubung dengan Tali Melalui Dua Katrol

Ketika dua benda dihubungkan oleh tali melalui dua katrol, yaitu satu katrol tetap dan satu katrol bebas, diperlukan analisis gerak yang memperhatikan rasio perpindahan dan percepatan dari masing-masing benda.

Untuk benda A:

$$\sum F_A = m_A a_A$$

$$T = m_A a_A$$

Untuk benda B:

Percepatan benda B adalah setengah dari percepatan benda A, karena katrol bebas menyebabkan panjang tali terbagi dua:

$$a_B = 0,5a_A$$

$$\sum F_B = m_B a_B$$

$$w_B - 2T = m_B a_B$$

$$2T = w_B - m_B a_B$$

$$T = \frac{w_B - m_B a_B}{2}$$

$$T = \frac{m_B g - m_B a_B}{2}$$

$$T = \frac{m_B}{2}(g - a_B)$$



Fakta Fisika di Sekitarmu

Gesekan statis sebenarnya lebih kuat daripada gesekan kinetik!

Untuk memulai gerakan, kita perlu mengatasi gesekan statis, yang nilainya lebih besar dibanding gesekan saat benda sudah bergerak (kinetik). Jadi, menarik koper dari diam jauh lebih berat dibanding saat koper sudah mulai bergulir.



Gesekan kinetik terjadi saat menarik koper – Shutterstock.com.1077182663

Pergerakan Benda yang Dihubungkan dengan Tali Melintasi Tiga Katrol

Dalam sistem tiga katrol, tiga benda (A, B, dan C) dihubungkan melalui tali dan katrol dengan ketentuan satu katrol bebas dan dua katrol tetap. Percepatan benda C merupakan jumlah dari percepatan benda A dan percepatan benda B.

$$a_C = a_A + a_B$$

Untuk benda A:

$$\sum F_A = m_A a_A$$

$$T = m_A a_A$$

Untuk benda B:

$$\sum F_B = m_B a_B$$

$$T = m_B a_B$$

Untuk benda C:

$$\sum F_c = m_c a_c$$

$$w_c - 2T = m_c a_c$$

$$2T = w_c - m_c a_c$$

$$T = \frac{w_c - m_c a_c}{2}$$

$$T = \frac{m_c g - m_c a_c}{2}$$

$$T = \frac{m_c}{2} (g - a_c)$$

Interaksi Gaya antara Benda yang Bersentuhan

Ketika dua benda saling bersentuhan dan salah satunya didorong oleh gaya F , maka akan timbul gaya kontak antara keduanya. Gaya ini bekerja secara aksi-reaksi.

Untuk benda A:

$$\sum F_A = m_A a$$

$$F - F_{BA} = m_A a$$

$$F_{BA} = F - m_A a$$

Untuk benda B:

$$\sum F_B = m_B a$$

$$F_{AB} = m_B a$$

Karena $F_{AB} = F_{BA}$, maka:

$$F - m_A a = m_B a$$

$$F = m_A a + m_B a$$

$$a = \frac{F}{m_A + m_B}$$

Dengan:

F_{AB} = gaya kontak benda A terhadap B

F_{BA} = gaya kontak benda B terhadap A

F = gaya dorong total

a = percepatan sistem

Gaya Sentripetal yang Mengarahkan Benda ke Pusat Lingkaran

Benda yang bergerak melingkar mengalami gaya yang selalu menuju pusat lingkaran. Gaya ini disebut gaya sentripetal dan sangat penting dalam sistem rotasi.

$$F_s = ma_s = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$$

Dengan:

F_s = gaya sentripetal (N)

m = massa benda (kg)

a_s = percepatan sentripetal (m/s^2)

v = kelajuan linear (m/s)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = jari-jari lintasan (m)

a. Kecepatan Benda dalam Gerak Melingkar

Jika sebuah benda diputar secara horizontal dengan tali, gaya tegangan pada tali menjadi gaya sentripetal. Untuk menghitung kecepatan gerak melingkar, digunakan persamaan:

$$F_s = ma_s$$

$$T = m \frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{Tr}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{Tr}{m}}$$

b. Periode Ayunan Konis

Ayunan konis merupakan bentuk gerak melingkar mendatar yang terjadi ketika sebuah benda tergantung dan diputar membentuk kerucut. Gerak ini bisa dianalisis untuk menghitung periode ayunan.

Pada sumbu X:

$$\sum F_x = 0$$

$$N_x - F_s = 0$$

$$N \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$$

$$N = \frac{mv^2}{r \sin \theta}$$

Pada sumbu Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$N_y - w = 0$$

$$N \cos \theta = mg$$

$$\frac{mv^2}{r \sin \theta} \cos \theta = mg$$

$$v^2 = gr \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$v^2 = gr \tan \theta$$

$$v = \sqrt{gr \tan \theta}$$

Karena $r = L \sin \theta$, maka:

$$v = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta} = \sqrt{gL \sin \theta \cdot \frac{\sin \theta}{\cos \theta}} = \sqrt{gL \frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta}}$$

$$v = \sqrt{gL \frac{\sin \theta}{\cos \theta}}$$

c. Menghitung Periode Putaran Ayunan Konis

Untuk menghitung waktu yang dibutuhkan satu kali putaran:

$$v = \frac{2\pi r}{T}, \quad T = \frac{2\pi r}{v}$$

Substitusi v dan r:

$$T = \frac{2\pi L \sin \theta}{\sqrt{gL \frac{\sin \theta}{\cos \theta}}} = \frac{2\pi L \sin \theta}{\sqrt{gL} \sqrt{\frac{\sin \theta}{\cos \theta}}} = \frac{2\pi \sqrt{L^2}}{\sqrt{gL} \sqrt{\frac{1}{\cos \theta}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$$

Gaya Mobil yang Bergerak pada Belokan Jalan Datar



Mobil balap melaju aman di tikungan miring berkat gaya sentripetal –
Shutterstock.com.793908574

Ketika sebuah mobil bergerak di tikungan jalan datar, diperlukan gaya gesek statis yang mengarah ke pusat lingkaran agar mobil tetap berada pada lintasan melingkar dan tidak tergelincir ke luar tikungan. Gaya gesek ini bertindak sebagai gaya sentripetal.

Persamaan yang menggambarkan hubungan antara gaya gesek dan kelajuan maksimum mobil yang dapat dipertahankan tanpa tergelincir adalah:

$$F_s = m \frac{V_{\text{maks}}^2}{r}$$

$$\mu_s N = m \frac{V_{\text{maks}}^2}{r}$$

$$\mu_s mg = m \frac{V_{\text{maks}}^2}{r}$$

$$\mu_s g = \frac{V_{\text{maks}}^2}{r}$$

Sudut Kemiringan Jalan pada Belokan Miring

Untuk menempuh tikungan dengan kecepatan tinggi, jalan biasanya dirancang miring. Ini membantu mobil menikung tanpa mengandalkan gaya gesek (dengan asumsi permukaan sangat licin). Pada kasus ini, gaya normal dari permukaan jalan akan memiliki komponen yang bertanggung jawab terhadap gaya sentripetal.

Pada sumbu Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$N \cos \theta - w = 0$$

$$N \cos \theta = mg$$

$$N = \frac{mg}{\cos \theta}$$

Pada sumbu X:

$$\sum F_x = m \frac{v^2}{r}$$

$$N \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$$

$$N = \frac{mv^2}{r \sin \theta}$$

Gabungkan kedua hasil:

$$\sum F_x = \sum F_y$$

$$\frac{mv^2}{r \sin \theta} = \frac{mg}{\cos \theta}$$

$$\frac{v^2}{gr} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{gr}$$

Contoh Soal

Sebuah mobil bermassa 1.000 kg bergerak melewati tikungan jalan datar dengan jari-jari kelengkungan $r = 50$ m. Koefisien gesekan statis antara ban dan jalan adalah $\mu_s = 0,4$. Berapakah kecepatan maksimum agar mobil tidak tergelincir keluar dari tikungan?

Pembahasan:

Gaya gesek statis maksimum yang bertindak sebagai gaya sentripetal:

$$\mu_s mg = m \frac{V_{\text{maks}}^2}{r}$$

Langkah 1: Sederhanakan persamaan (massa m bisa dicoret):

$$\mu_s g = \frac{V_{\text{maks}}^2}{r}$$

Langkah 2: Masukkan nilai-nilai yang diketahui:

$$0,4 \times 9,8 = \frac{V_{\text{maks}}^2}{50}$$

$$3,92 = \frac{V_{\text{maks}}^2}{50}$$

Langkah 3: Kalikan kedua sisi dengan 50:

$$V_{\text{maks}}^2 = 196$$

Langkah 4: Ambil akar kuadrat dari kedua sisi:

$$V_{\text{maks}} = \sqrt{196} = 14 \text{ m/s}$$

Kecepatan maksimum agar mobil tidak tergelincir adalah 14 m/s.

Benda Bergerak Melingkar pada Bidang Vertikal

a. Benda Bergerak di Sisi Dalam Lingkaran

Saat sebuah benda bermassa m bergerak di dalam lintasan vertikal yang licin, gaya sentripetal yang bekerja selalu menuju pusat lingkaran. Gaya-gaya yang terlibat antara lain gaya berat dan gaya normal.

$$F_s = ma_s = m \frac{v^2}{r}$$

Pada titik A (titik terendah):

$$\sum F_A = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_A - w = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_A = w + m \frac{v^2}{r}$$

Pada titik B:

$$\sum F_B = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_B - w \cos \theta = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_B = w \cos \theta + m \frac{v^2}{r}$$

Pada titik C:

$$\sum F_C = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_C - w \cos \theta = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_C = w \cos \theta + m \frac{v^2}{r}$$

Pada titik D (titik tertinggi):

$$\sum F_D = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_D + w = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_D = m \frac{v^2}{r} - w$$

Pada titik E:

$$\sum F_E = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_E = m \frac{v^2}{r}$$

Dapat disimpulkan bahwa gaya normal terbesar terjadi di titik terendah (A) dan gaya normal terkecil di titik tertinggi (D). Pada titik E, gaya normal hanya bergantung pada gaya sentripetal dan tidak dipengaruhi oleh berat benda.

b. Benda Bergerak di Sisi Luar Lingkaran

Jika benda berada di sisi luar lingkaran vertikal, arah gaya normal justru keluar dari pusat lingkaran. Sesuai hukum Newton II, kita anggap semua gaya keluar bernilai negatif dan ke pusat bernilai positif.

Pada titik A (titik tertinggi):

$$\sum F_A = m \frac{v^2}{r}$$

$$w - N_A = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_A = w - m \frac{v^2}{r}$$

Pada titik B:

$$\sum F_B = m \frac{v^2}{r}$$

$$w \cos \theta - N_B = m \frac{v^2}{r}$$

$$N_B = w \cos \theta - m \frac{v^2}{r}$$

Kegiatan Kelompok 1

Menganalisis Percepatan dan Gaya Gesek pada Bidang Miring

Tujuan:

- 1) Mengukur percepatan dan kecepatan akhir benda saat bergerak pada bidang miring.
- 2) Menentukan nilai koefisien gesekan antara permukaan bidang dan benda.

Alat dan Bahan:

- 1) Stopwatch
- 2) Bidang miring (dapat berupa papan atau permukaan miring buatan)
- 3) Beberapa jenis benda (misalnya balok kayu, karet, atau logam kecil)
- 4) Penggaris atau meteran
- 5) Buku catatan atau lembar kerja

Langkah Kegiatan:

- 1) Bentuk kelompok yang terdiri dari 4–5 orang.
- 2) Siapkan bidang miring dengan kemiringan tertentu (misalnya 30°).
- 3) Letakkan benda di bagian atas bidang miring dan lepaskan tanpa dorongan.
- 4) Catat waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai dasar bidang menggunakan stopwatch.
- 5) Ukur panjang lintasan dari atas ke dasar bidang.
- 6) Gantilah jenis benda dan ulangi langkah 3–5 untuk setiap benda.
- 7) Ulangi percobaan dengan bidang datar (0°) sebagai perbandingan.
- 8) Gunakan data yang diperoleh untuk menghitung percepatan, kecepatan akhir, dan koefisien gesekan.

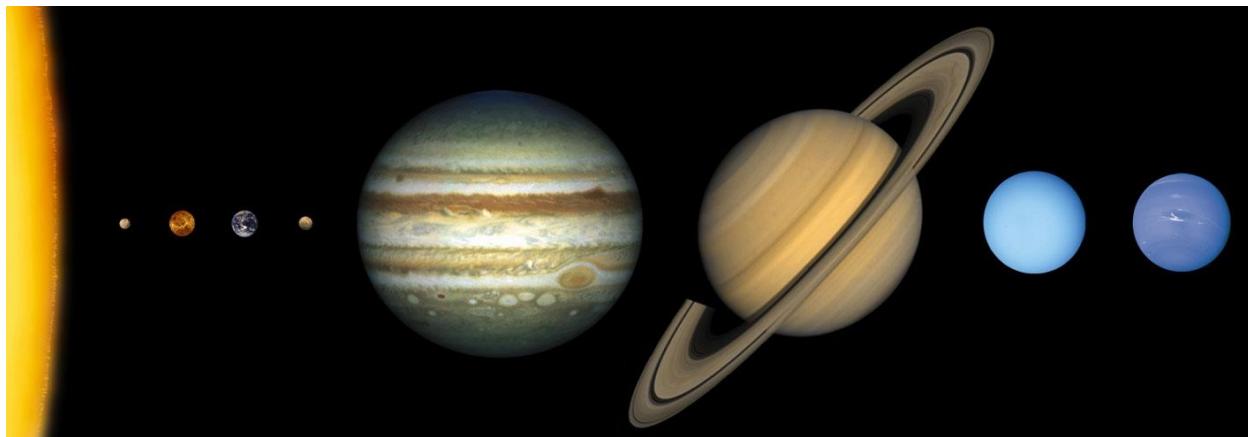
Pertanyaan Diskusi:

- 1) Bagaimana perbedaan percepatan dan kecepatan akhir untuk masing-masing benda dan sudut bidang?
- 2) Bagaimana Anda menentukan koefisien gesekan antara permukaan dan benda?
- 3) Apa pengaruh sudut kemiringan terhadap besar gaya gesek dan percepatan benda?
- 4) Buatlah kesimpulan dari kegiatan ini dan presentasikan hasilnya kepada kelas.



4. Newton tentang Gravitasi

Konsep Dasar Gaya Gravitasi



Planet-planet bergerak mengelilingi Matahari karena adanya gaya gravitasi – Shutterstock.com.793908574

Isaac Newton membuktikan bahwa planet-planet dapat bergerak mengelilingi Matahari karena adanya gaya tarik menarik antara benda bermassa. Gaya ini disebut gaya gravitasi, yaitu gaya tarik antar partikel bermassa yang selalu bekerja menuju satu sama lain. Gaya gravitasi tidak hanya berlaku pada benda langit, tetapi juga pada semua partikel di alam semesta. Besarnya gaya gravitasi yang bekerja antara dua benda bermassa sebanding langsung dengan hasil kali massa keduanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya.

$$F \sim \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Untuk membuat persamaan menjadi setara, digunakan konstanta gravitasi G , sehingga rumus menjadi:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Dengan:

F = gaya gravitasi (N)

m_1, m_2 = massa benda 1 dan 2 (kg)

r = jarak antara dua benda (m)

G = konstanta gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$)

Nilai G pertama kali dihitung oleh Sir Henry Cavendish dengan eksperimen neraca puntir. Hukum Newton ini menjadi dasar pemahaman tentang gerak planet, satelit, dan benda-benda di tata surya.

Gaya Gravitasi terhadap Sebuah Benda oleh Dua Massa

Sebuah benda bermassa m yang berada di antara dua benda bermassa m_1 dan m_2 akan dipengaruhi oleh dua gaya gravitasi sekaligus:

$$F_1 = G \frac{m m_1}{r_1^2}$$

$$F_2 = G \frac{m m_2}{r_2^2}$$

Resultan gaya gravitasi total yang dialami benda m ditentukan dengan rumus vektor:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

Dengan:

F = resultan gaya gravitasi (N)

F_1, F_2 = gaya gravitasi akibat m_1 dan m_2 (N)

α = sudut antara arah gaya F_1 dan F_2

Menentukan Massa Bumi dan Matahari

Ketika sebuah benda bermassa m berada di permukaan Bumi, ia mengalami gaya tarik gravitasi dari Bumi, yang disebut berat benda:

$$w = mg$$

Dengan:

w = berat benda (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi di permukaan Bumi (m/s^2)

Jika massa Bumi adalah M dan jarak dari pusat Bumi ke permukaan adalah R , maka gaya tarik Bumi terhadap benda:

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

Karena $F = w$, maka:

$$G \frac{Mm}{R^2} = mg$$

$$M = \frac{gR^2}{G}$$

Dengan:

M = massa Bumi (kg)

R = jari-jari Bumi (m)

G = konstanta gravitasi

Substitusi nilai:

$$M = \frac{(9,8 \text{ m/s}^2)(6,37 \times 10^6 \text{ m})^2}{6,673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2}$$

$$M = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

Menghitung Massa Matahari dari Gerak Bumi

Dengan menganalisis gerak Bumi mengelilingi Matahari yang berbentuk lintasan lingkaran dengan jari-jari r dan kecepatan linear v , dapat ditentukan gaya sentripetal yang bekerja pada Bumi:

$$F_s = m \frac{v^2}{r}$$

Karena gaya sentripetal ini juga merupakan gaya gravitasi dari Matahari, maka:

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

Dengan:

M = massa Matahari

m = massa Bumi

r = jarak Bumi–Matahari

v = kecepatan Bumi mengelilingi Matahari

G = konstanta gravitasi

Isaac Newton mengemukakan bahwa setiap dua benda bermassa saling tarik-menarik dengan gaya yang sebanding dengan hasil kali massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya. Gaya gravitasi yang terjadi antara Matahari dan Bumi dirumuskan sebagai berikut:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

dengan:

F = gaya gravitasi (N),

G = konstanta gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$),

m = massa Bumi (kg),

M = massa Matahari (kg),

r = jarak antara Bumi dan Matahari ($1,50 \times 10^{11} \text{ m}$).

Karena gaya gravitasi menjadi penyebab Bumi bergerak melingkar mengelilingi Matahari, maka gaya ini juga menjadi gaya sentripetal. Dengan menyamakan gaya gravitasi dan gaya sentripetal:

$$G \frac{mM}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

Maka, kita dapat menghitung massa Matahari:

$$M = \frac{v^2 r}{G}$$

Kecepatan linear Bumi dalam orbitnya dapat dihitung dari periode T revolusinya:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Jika rumus kecepatan dimasukkan ke rumus massa, maka:

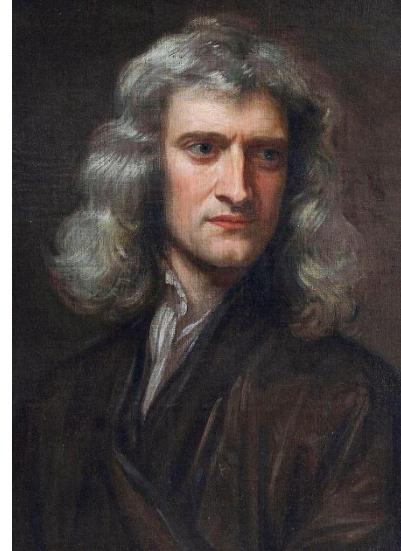
$$M = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 r}{G} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

Dengan memasukkan nilai:

$r = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$,

$T = 3,15 \times 10^7 \text{ s}$,

$G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$,



Isaac Newton – id.wikipedia.org

diperoleh:

$$M = \frac{4(3,14)^2(1,50 \times 10^{11})^3}{(6,673 \times 10^{-11})(3,15 \times 10^7)^2}$$
$$= 2,01 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Contoh Soal

Sebuah benda bermassa 10 kg berada pada jarak 2,0 m dari benda lain yang bermassa 5,0 kg. Hitunglah besar gaya gravitasi yang bekerja antara kedua benda tersebut!

Pembahasan:

Gunakan rumus hukum gravitasi Newton:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Langkah 1: Masukkan nilai-nilai ke dalam rumus

$$m_1 = 10 \text{ kg}, \quad m_2 = 5 \text{ kg}, \quad r = 2,0 \text{ m}, \quad G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$$

Langkah 2: Hitung

$$F = 6,673 \times 10^{-11} \cdot \frac{10 \times 5}{(2)^2}$$

$$F = 6,673 \times 10^{-11} \cdot \frac{50}{4}$$

$$F = 6,673 \times 10^{-11} \cdot 12,5$$

$$F = 8,34125 \times 10^{-10} \text{ N}$$

Gaya gravitasi antara kedua benda tersebut adalah $8,34 \times 10^{-10}$ N.



5. Medan Gravitasi dan Percepatan Gravitasi

Ruang di sekitar benda bermassa dikenal sebagai medan gravitasi. Medan gravitasi adalah suatu wilayah yang dapat memberikan gaya tarik pada benda bermassa yang berada di dalamnya. Kuat medan gravitasi menunjukkan seberapa besar gaya per satuan massa yang dialami oleh suatu benda di lokasi tertentu dalam medan tersebut. Besarnya gaya ini sama dengan percepatan gravitasi yang diberikan kepada benda. Jika suatu benda dengan massa m berada di permukaan Bumi dengan massa M , maka gaya gravitasinya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

Karena gaya berat w didefinisikan sebagai $w = mg$, maka percepatan gravitasi di permukaan Bumi dapat dinyatakan sebagai:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Dengan:

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

M = massa Bumi (kg)

R = jari-jari Bumi (m)

G = konstanta gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$)

Karena nilai G dan M tetap, maka percepatan gravitasi g akan semakin kecil jika R bertambah. Hal ini menjelaskan mengapa percepatan gravitasi di kutub Bumi sedikit lebih besar dibandingkan di ekuator, karena jarak ke pusat Bumi di kutub lebih pendek.

Percepatan Gravitasi pada Ketinggian

Ketika benda berada pada ketinggian h dari permukaan Bumi, maka jaraknya dari pusat Bumi menjadi $R + h$. Percepatan gravitasinya dihitung menggunakan:

$$g_B = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

Perbandingan percepatan gravitasi di permukaan dan di ketinggian tersebut diberikan oleh:

$$\frac{g_A}{g_B} = \left(\frac{R}{R + h} \right)^2$$

Perbandingan Berat Benda di Ketinggian

Karena berat benda bergantung pada percepatan gravitasi, maka berat benda di tempat berbeda akan berbeda pula. Jika w_A adalah berat benda di permukaan dan w_B beratnya pada ketinggian h , maka:

$$\frac{w_A}{w_B} = \left(\frac{R}{R + h} \right)^2$$

Resultan Percepatan Gravitasi dari Dua Benda

Jika ada dua benda bermassa m_1 dan m_2 , dan keduanya memberikan pengaruh gravitasi terhadap benda lain yang berada di antara keduanya, maka percepatan gravitasi masing-masing adalah:

$$g_1 = G \frac{m_1}{r_1^2}, \quad g_2 = G \frac{m_2}{r_2^2}$$

Karena percepatan gravitasi merupakan besaran vektor, maka resultan percepatan dari keduanya adalah:

$$g = \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + 2g_1g_2 \cos \alpha}$$

Dengan α adalah sudut antara vektor g_1 dan g_2 .

Contoh Soal

Sebuah benda berada pada ketinggian $h = 640$ km dari permukaan Bumi. Jika jari-jari Bumi $R = 6,37 \times 10^6$ m dan percepatan gravitasi di permukaan Bumi $g_A = 9,8 \text{ m/s}^2$, hitunglah percepatan gravitasi g_B pada ketinggian tersebut!

Pembahasan:

Gunakan rumus perbandingan percepatan gravitasi pada permukaan dan pada ketinggian tertentu:

$$\frac{g_B}{g_A} = \left(\frac{R}{R+h} \right)^2$$

$$g_B = g_A \left(\frac{R}{R+h} \right)^2$$

Ubah ketinggian menjadi meter:

$$h = 640 \text{ km} = 640,000 \text{ m}$$

Masukkan ke rumus:

$$g_B = 9,8 \left(\frac{6,37 \times 10^6}{6,37 \times 10^6 + 640,000} \right)^2$$

$$= 9,8 \left(\frac{6,37 \times 10^6}{7,01 \times 10^6} \right)^2$$

$$= 9,8 \left(\frac{6,37}{7,01} \right)^2$$

$$= 9,8(0,9087)^2$$

$$= 9,8 \times 0,8258$$

$$= 8,09 \text{ m/s}^2$$

Percepatan gravitasi pada ketinggian 640 km adalah $8,09 \text{ m/s}^2$.



6. Kecepatan Orbit Sebuah Satelit

Satelit yang mengorbit Bumi berada dalam pengaruh dua gaya utama, yaitu gaya tarik gravitasi dan gaya sentripetal. Keseimbangan kedua gaya ini membuat satelit dapat mengorbit secara stabil. Jika m adalah massa satelit, maka:

$$m \frac{v^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}$$

Dengan menyederhanakan:

$$v^2 = G \frac{M}{r}$$

atau

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

Dengan:

v = kecepatan orbit satelit (m/s)

M = massa Bumi (kg)

r = jarak satelit ke pusat Bumi (m)



Satelit – id.wikipedia.org

Contoh Soal

Sebuah satelit mengorbit Bumi pada ketinggian 600 km dari permukaan Bumi. Jika massa Bumi $M = 5,97 \times 10^{24}$ kg, jari-jari Bumi $R = 6,37 \times 10^6$ m, dan konstanta gravitasi $G = 6,673 \times 10^{-11}$ N·m²/kg², hitunglah kecepatan orbit satelit tersebut!

Pembahasan:

Langkah 1: Tentukan jarak satelit dari pusat Bumi

$$r = R + h$$

$$= (6,37 \times 10^6 \text{ m}) + (6,0 \times 10^5 \text{ m})$$

$$= 6,97 \times 10^6 \text{ m}$$

Langkah 2: Gunakan rumus kecepatan orbit

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

Substitusikan nilai:

$$v = \sqrt{(6,673 \times 10^{-11}) \cdot \frac{5,97 \times 10^{24}}{6,97 \times 10^6}}$$

$$v = \sqrt{(6,673 \times 10^{-11}) \cdot (8,565 \times 10^{17})}$$

$$v = \sqrt{5,71 \times 10^7} \approx 7,56 \times 10^3 \text{ m/s}$$

Kecepatan orbit satelit pada ketinggian 600 km dari permukaan Bumi adalah sekitar 7,56 km/s.



7. Hukum Kepler III

Hukum Kepler III menyatakan bahwa kuadrat periode orbit suatu planet atau satelit sebanding dengan pangkat tiga dari jarak rata-ratanya terhadap pusat orbit (Matahari atau Bumi). Jika T adalah periode orbit dan r adalah jarak rata-rata ke pusat, maka:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}$$

Untuk dua planet yang berbeda dengan periode T_1 dan T_2 , serta jarak rata-rata ke Matahari r_1 dan r_2 , berlaku:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3$$

Dengan:

T_1 = periode planet 1 terhadap Matahari (s),

T_2 = periode planet 2 terhadap Matahari (s),

r_1 = jarak rata-rata planet 1 terhadap Matahari (m), dan

r_2 = jarak rata-rata planet 2 terhadap Matahari (m).

Contoh Soal

Planet A mengorbit Matahari dengan jarak rata-rata $r_1 = 1,5 \times 10^{11}$ m dan memiliki periode orbit $T_1 = 1$ tahun. Planet B memiliki jarak rata-rata terhadap Matahari sebesar $r_2 = 5,2 \times 10^{11}$ m. Hitunglah periode orbit Planet B dalam satuan tahun!

Pembahasan:

Gunakan rumus perbandingan Hukum Kepler III:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3$$

Substitusikan nilai-nilainya:

$$\left(\frac{1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{1,5 \times 10^{11}}{5,2 \times 10^{11}}\right)^3$$

Hitung perbandingan jarak terlebih dahulu:

$$\left(\frac{1,5}{5,2}\right)^3 = (0,2885)^3 \approx 0,024$$

$$\left(\frac{1}{T_2}\right)^2 = 0,024 \Rightarrow \frac{1}{T_2^2} = 0,024 \Rightarrow T_2^2 = \frac{1}{0,024} \approx 41,67$$

$$T_2 = \sqrt{41,67} \approx 6,46$$

Periode orbit Planet B adalah sekitar 6,46 tahun.

Rangkuman

1) Hubungan Gaya dan Gerak Benda

Dalam dinamika partikel, gaya merupakan penyebab utama terjadinya perubahan gerak. Hukum Newton menjadi dasar dalam memahami pengaruh gaya terhadap gerakan benda. Hukum I Newton menyatakan bahwa benda akan tetap diam atau bergerak lurus beraturan jika resultan gaya yang bekerja padanya nol:

$$\sum F = 0$$

Hukum II Newton menjelaskan bahwa percepatan berbanding lurus dengan resultan gaya dan berbanding terbalik dengan massa benda:

$$a = \frac{\sum F}{m} \quad \text{atau} \quad \sum F = ma$$

Hukum III Newton menyatakan bahwa setiap aksi akan menimbulkan reaksi yang sama besar dan berlawanan arah. Untuk gaya berat, digunakan rumus:

$$w = mg$$

di mana gaya berat bergantung pada massa dan percepatan gravitasi.

2) Peranan Gaya Gesek dalam Menentukan Gerakan Suatu Benda

Gaya gesek timbul dari interaksi dua permukaan yang bersentuhan dan selalu berlawanan arah dengan kecenderungan gerak. Gaya ini dapat bersifat menguntungkan, seperti membantu kendaraan berhenti, atau merugikan, seperti menyebabkan keausan mesin. Gaya gesek statis terjadi saat benda belum bergerak, dengan nilai maksimum:

$$f_s \leq f_{s \text{ maks}} = \mu_s N$$

Setelah benda bergerak, gaya gesek yang bekerja adalah gaya gesek kinetik yang nilainya lebih kecil:

$$f_k = \mu_k N$$

Gesekan kinetik memudahkan benda mempertahankan geraknya karena hambatan yang lebih kecil dibanding gesek statis.

3) Penerapan Hukum Newton dalam Berbagai Situasi Gerak

Hukum Newton dapat diterapkan dalam berbagai situasi seperti lift, katrol, bidang miring, dan interaksi antar benda. Dalam lift, gaya normal dapat berubah tergantung percepatan, misalnya saat lift naik dengan percepatan:

$$N = w + ma$$

Untuk sistem katrol dengan dua benda, percepatan sistem diperoleh dari:

$$a = \frac{(m_B - m_A)g}{m_A + m_B}$$

Sementara pada bidang miring licin, komponen gaya berat menentukan percepatan:

$$a = \frac{F - w \sin \theta}{m}$$

Semua situasi ini menunjukkan bagaimana hukum Newton digunakan untuk menganalisis gerakan dalam berbagai kondisi nyata.

4) Newton tentang Gravitasi

Newton menjelaskan bahwa semua benda bermassa saling tarik-menarik dengan gaya yang disebut gaya gravitasi. Besarnya gaya gravitasi antara dua massa diberikan oleh:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Untuk menentukan massa Bumi atau Matahari, digunakan kesetaraan antara gaya gravitasi dan gaya sentripetal, seperti:

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

Hukum ini menjadi dasar dalam menjelaskan gerak planet, satelit, serta benda langit lainnya.

5) Medan Gravitasi dan Percepatan Gravitasi

Medan gravitasi adalah ruang di sekitar benda bermassa di mana benda lain akan mengalami gaya tarik. Besarnya percepatan gravitasi di permukaan Bumi dihitung dengan:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Jika benda berada di ketinggian h , percepatannya menjadi:

$$g_B = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Untuk dua sumber gravitasi, percepatan total dihitung sebagai vektor:

$$g = \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + 2g_1 g_2 \cos \alpha}$$

Perbedaan percepatan ini menjelaskan mengapa berat benda berubah tergantung pada ketinggian atau posisi terhadap dua massa lain.

6) Kecepatan Orbit Sebuah Satelit

Satelit mengorbit Bumi karena keseimbangan antara gaya gravitasi dan gaya sentripetal. Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung kecepatan orbit satelit adalah:

$$v^2 = G \frac{M}{r} \text{ atau } v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

dengan v sebagai kecepatan orbit, M massa Bumi, dan r jarak dari pusat Bumi. Rumus ini menjelaskan mengapa kecepatan orbit satelit bergantung pada ketinggiannya dari permukaan Bumi.

7) Hukum Kepler III

Hukum Kepler III menyatakan bahwa kuadrat periode revolusi planet sebanding dengan pangkat tiga jarak rata-rata ke pusat orbit. Secara matematis dinyatakan:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}$$

Untuk dua planet atau satelit yang berbeda:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3$$

Latihan Soal

1. Sebuah benda bermassa 4 kg bergerak pada bidang licin dengan kelajuan awal 10 m/s. Benda tersebut dipengaruhi gaya $F = (8 + 2t)$ N. Hitung besar kecepatan benda pada $t = 3$ s.
 - 16,10 m/s
 - 18,25 m/s
 - 20,15 m/s
 - 22,5 m/s
 - 24,55 m/s
2. Sebuah benda bermassa 1,5 kg diputar dalam bidang vertikal dengan jari-jari 0,75 m. Jika saat berada di titik terendah tegangan talinya 30 N, maka besar kecepatan linear benda saat itu adalah...
 - 3 m/s
 - 4 m/s
 - 5 m/s
 - 6 m/s
 - 7 m/s
3. Planet X dan Y mengorbit Matahari dengan jarak rata-rata ke Matahari masing-masing adalah $\frac{1}{9}b$ dan
b. Jika periode planet X adalah T, periode planet Y adalah
 - 3T
 - 6T
 - 9T
 - 18T
 - 27T
4. Sebuah benda bermassa 3 kg bergerak melingkar beraturan dengan kelajuan 6 m/s dan jari-jari lintasan 2 m. Pernyataan berikut yang benar adalah...
 - (1) Gaya sentripetal sebesar 54 N
 - (2) Vektor percepatan sentripetal sebesar 18 m/s^2
 - (3) Vektor kecepatan tidak tetap
 - (4) Gaya normal selalu searah kecepatan
 - (1) dan (2)
 - (2) dan (3)
 - (1), (2), dan (3)
 - (1), (3), dan (4)
 - (2), (3), dan (4)
5. Jika berat suatu benda di permukaan Bumi adalah w, maka berat benda tersebut pada ketinggian $2R$ dari pusat Bumi adalah... (R = jari-jari Bumi)
 - $\frac{1}{9}w$

- B. $\frac{1}{4}w$
- C. $\frac{1}{16}w$
- D. $\frac{1}{3}w$
- E. $\frac{1}{8}w$
6. Dua benda masing-masing bermassa 5 kg dan 10 kg terpisah sejauh 2 m. Gaya tarik-menarik gravitasinya adalah F . Jika jarak keduanya dijadikan 4 m, maka gaya tarik-menariknya menjadi...
- A. $\frac{1}{2}F$
- B. $\frac{1}{3}F$
- C. $\frac{1}{4}F$
- D. $\frac{1}{5}F$
- E. $\frac{1}{6}F$
7. Dua planet X dan Y memiliki rapat massa yang sama. Jika jari-jari planet X adalah 2 kali jari-jari planet Y, maka perbandingan percepatan gravitasi di permukaan planet X dan Y adalah...
- A. 1 : 2
- B. 1 : 3
- C. 1 : 4
- D. 2 : 1
- E. 3 : 1

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!



Referensi

- Kemendikbud. (2021). Fisika untuk SMA/MA kelas XI Kurikulum Merdeka. Pusat Perbukuan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Physics for Scientists and Engineers (10th ed.). Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). Physics for Scientists and Engineers (6th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Giancoli, D. C. (2005). Physics: Principles with Applications (6th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). Fundamentals of Physics (10th ed.). Wiley.



BAB 4: DINAMIKA USAHA DAN ENERGI

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong, Bernalar kritis, dan Mandiri

Tujuan Pembelajaran: Membangun Pemahaman tentang Usaha dan Energi

1. Menjabarkan Makna Usaha serta Keterkaitannya dengan Energi, Gaya, dan Hukum-Hukum Fisika

- ▷ Menjelaskan definisi usaha dalam konteks fisika dan membedakannya dengan makna sehari-hari.
- ▷ Menguraikan hubungan antara usaha, gaya, dan perpindahan sesuai dengan hukum Newton dan hukum kekekalan energi.

2. Mengidentifikasi Berbagai Macam Bentuk Energi yang Berkaitan dengan Konsep Usaha

- ▷ Mengklasifikasikan bentuk-bentuk energi seperti energi kinetik, energi potensial, dan energi mekanik.
- ▷ Memberikan contoh nyata di kehidupan sehari-hari yang menunjukkan bagaimana usaha mengubah bentuk energi.

Kata Kunci: Usaha, Gaya, Perpindahan, Energi, Energi Kinetik, Energi Potensial, Energi Mekanik, Hukum Newton, Hukum Kekekalan Energi

3. Menggunakan Konsep Usaha, Gaya, dan Perpindahan dalam Perhitungan Matematis

- ▷ Menghitung besarnya usaha yang dilakukan suatu gaya terhadap benda dengan rumus $W = F \cdot d \cdot \cos\theta$.
- ▷ Menganalisis pengaruh arah gaya terhadap usaha yang dilakukan melalui soal-soal berbasis konteks.

4. Menyimpulkan Kaitan antara Usaha dan Perubahan Energi dalam Berbagai Peristiwa

- ▷ Menjelaskan bagaimana usaha menyebabkan perubahan energi pada benda, misalnya dari energi potensial ke energi kinetik.
- ▷ Mengkaji kasus atau eksperimen sederhana untuk menunjukkan konversi energi yang disebabkan oleh usaha.

5. Menjelaskan Keterkaitan Usaha dengan Energi Potensial dan Kinetik yang Dialami Suatu Benda

- ▷ Menyusun penjelasan bagaimana usaha memengaruhi energi potensial (misalnya saat mengangkat benda ke atas).
- ▷ Menganalisis hubungan usaha dengan energi kinetik melalui gerakan benda, seperti pada sistem pegas atau peluru.

F I T R I



1. Usaha



Seorang pria sedang mendorong dengan usaha - Canva

Usaha merupakan bentuk kerja yang dilakukan ketika gaya menyebabkan benda berpindah. Contohnya, seseorang menarik gerobak, mendorong lemari, atau mengangkat barang-semuanya melibatkan gaya dan perpindahan. Dalam konteks fisika, usaha didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dengan perpindahan benda tersebut. Karena usaha tidak memiliki arah, maka usaha termasuk besaran skalar.

Jika suatu gaya F mengakibatkan benda berpindah sejauh s , maka usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut dapat dituliskan dalam rumus:

$$W = Fs$$

dengan:

F = gaya yang bekerja pada benda (N)

s = perpindahan benda (m)

W = usaha yang dilakukan oleh gaya (J)

Apabila gaya bekerja berlawanan arah dengan perpindahan, usaha bernilai negatif:

$$W = -Fs$$

Jika lebih dari satu gaya bekerja pada benda, usaha total dihitung dari resultan gaya kali perpindahan:

$$W = \overrightarrow{F_{\text{resultan}}} \cdot \overrightarrow{s}$$

Gaya F juga bisa diuraikan menjadi komponen-komponen jika membentuk sudut θ terhadap arah perpindahan. Usaha hanya dilakukan oleh komponen gaya yang sejajar dengan arah perpindahan, yaitu:

$$W = F s \cos \theta$$

Usaha oleh Pegas

Saat bekerja dengan pegas, hubungan antara gaya dan perubahan panjang pegas mengikuti Hukum Hooke. Gaya pegas F sebanding dengan pertambahan panjang pegas x :

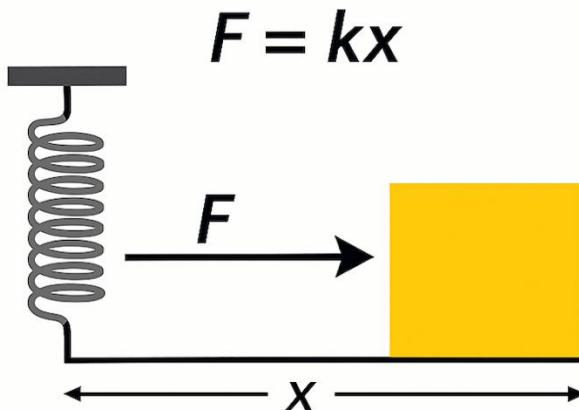
$$F = kx$$

dengan:

F = gaya pegas (N)

x = pertambahan panjang pegas (m)

k = konstanta pegas (N/m)



Gambar ilustrasi rumus gaya pegas – Ilustrasi Penerbit

Karena gaya pegas berubah seiring dengan pertambahan panjang, usaha dihitung dari luas grafik gaya vs pertambahan panjang (berbentuk segitiga):

$$W = \frac{1}{2} kx^2$$

dengan:

W = usaha (J)

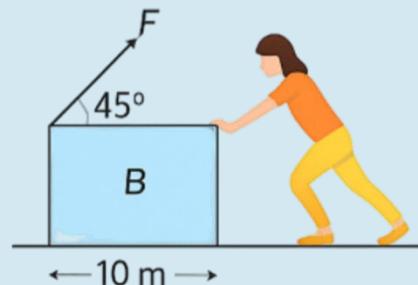
k = konstanta pegas (N/m)

x = pertambahan panjang pegas (m)

Contoh Soal

Perhatikan gambar berikut:

Santi mendorong kotak B dengan gaya F membentuk sudut 45° terhadap bidang datar. Kotak tersebut berpindah sejauh 10 m dan usaha yang dilakukan Santi sebesar 353 J. Tentukan besar gaya F yang diberikan Santi terhadap kotak B.



Pembahasan:

Gunakan rumus usaha:

$$W = F s \cos \theta$$

Diketahui:

- $W = 353 \text{ J}$
- $s = 10 \text{ m}$
- $\theta = 45^\circ$

$$353 = F(10) \cos 45^\circ$$

$$353 = F(10) \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

$$353 = 5\sqrt{2}F$$

$$F = \frac{353}{5\sqrt{2}} \approx \frac{353}{7.07} \approx 49.93 \text{ N}$$

Jadi, besar gaya yang diberikan Santi terhadap kotak B adalah sekitar 49,93 N.



Fakta Fisika di Sekitarmu



Memainkan ketapel—
Canva.com

Mengenal Energi Potensial dari Ketapel

Ketapel bukan sekadar mainan, tapi contoh fisika yang nyata. Saat kamu menarik karetnya, kamu menyimpan energi. Semakin jauh ditarik, semakin besar energi potensial elastis yang terkumpul.

Begini dilepas, energi itu berubah jadi gerakan yang membuat batu melesat cepat. Ini membuktikan bahwa fisika ada di sekitar kita, bahkan dalam permainan sederhana.



2. Energi



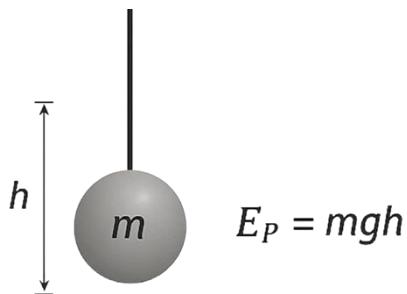
Energi listrik yang dikeluarkan membuat energi panas pada setrika - Canva

Sebuah benda memiliki **energi** jika benda itu mampu melakukan usaha. Energi tidak bisa dilihat atau disentuh, tetapi keberadaannya dapat dirasakan melalui efeknya. Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, melainkan bisa berubah bentuk dari satu jenis ke jenis lainnya. Ada berbagai bentuk energi berdasarkan sumbernya, seperti energi kimia, panas, mekanik, listrik, cahaya, panas bumi, hingga energi dari bahan bakar fosil.

Contoh perubahan energi bisa dilihat pada baterai. Ketika digunakan untuk menyalakan **remote TV**, energi kimia di dalam baterai berubah menjadi energi cahaya dan suara. Perubahan serupa juga terjadi saat alat-alat seperti **kompor listrik**, **setrika listrik**, dan **solder listrik** dihubungkan ke arus listrik. Energi listrik kemudian berubah menjadi energi kalor.

Perubahan dari energi mekanik ke energi listrik juga dapat ditemukan pada bendungan. Air yang mengalir dari dataran tinggi dapat menggerakkan turbin, dan energi gerak dari turbin tersebut digunakan untuk menggerakkan generator pembangkit listrik.

Energi Potensial



Gambar ilustrasi energi potensial – Ilustrasi Penerbit

Energi potensial muncul ketika suatu benda berada pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah. Misalnya, benda tergantung dengan tali. Ketika tali diputus, benda jatuh karena adanya energi potensial yang berubah menjadi energi kinetik. Secara matematis, energi potensial dirumuskan sebagai:

$$EP = W$$

$$EP = mgh$$

dengan:

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = ketinggian dari permukaan tanah (m)

EP = energi potensial (joule)

Energi potensial juga berlaku pada benda yang ditarik oleh pegas. Jika benda meregangkan pegas, maka terjadi energi potensial pegas yang besarnya sesuai hukum Hooke. Rumusnya sebagai berikut:

$$EP = \frac{1}{2}kx^2$$

dengan:

k = konstanta pegas (N/m)

x = pertambahan panjang pegas (m)

EP = energi potensial (J)

Energi Kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki benda karena gerakannya. Jika bola bermassa m berada di bidang datar licin dan diberi gaya F , maka bola akan bergerak sejauh s dengan percepatan a , sehingga:

$$a = \frac{F}{m}$$

Kecepatan bola setelah menempuh jarak s dari keadaan diam dihitung menggunakan:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

$$v_t^2 = 0 + 2\left(\frac{F}{m}\right)s$$

Maka usaha oleh gaya tersebut menjadi:

$$\frac{1}{2}mv_t^2 = Fs$$

Sehingga, energi kinetik bola dirumuskan:

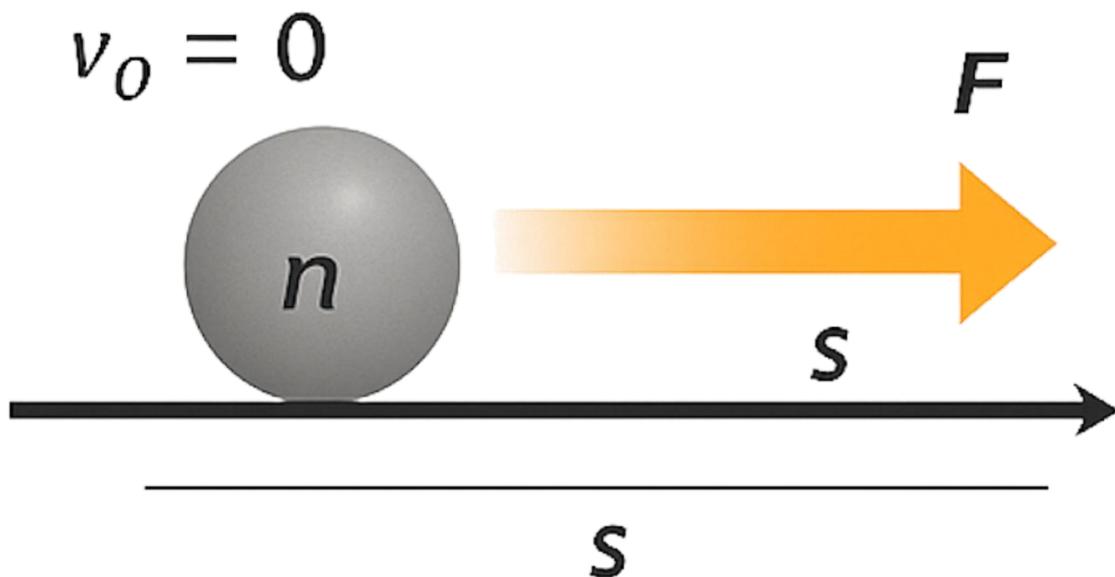
$$EK = \frac{1}{2}mv^2$$

dengan:

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)

EK = energi kinetik (J)



Gambar ilustrasi energi kinetik – Ilustrasi Penerbit

Contoh Soal

Sebuah benda bermassa 3 kg tergantung pada seutas tali setinggi 4 meter dari permukaan tanah. Hitung besar energi potensial benda tersebut terhadap permukaan tanah!

Pembahasan

Gunakan rumus:

$$EP = mgh$$

Diketahui:

$$m = 3 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$EP = (3)(10)(4) = 120 \text{ J}$$

Jadi, energi potensial benda tersebut adalah 120 joule.



3. Keterkaitan antara Usaha dan Energi

Usaha dan energi merupakan dua konsep penting dalam fisika yang saling berkaitan. **Usaha** adalah besaran yang menunjukkan seberapa besar gaya yang dilakukan untuk memindahkan benda, sedangkan **energi** adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Hubungan antara keduanya dapat dijelaskan melalui dua jenis energi utama: energi potensial dan energi kinetik.

Hubungan Usaha bersama Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang dimiliki benda karena posisinya. Misalnya, sebuah benda bermassa m yang berada pada ketinggian h^1 dari permukaan tanah memiliki energi potensial gravitasi sebesar:

$$EP_1 = mgh_1$$

Jika benda tersebut jatuh hingga mencapai ketinggian h^2 , maka energi potensial akhirnya menjadi:

$$EP_2 = mgh_2$$

Usaha yang dilakukan oleh gaya berat selama perpindahan dari h^1 ke h^2 adalah:

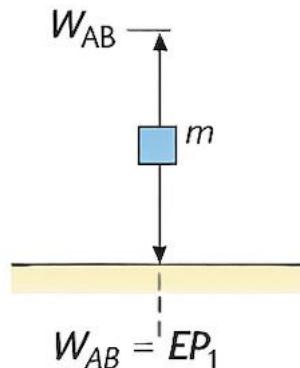
$$W_{AB} = EP_1 - EP_2$$

Dengan:

W_{AB} = usaha oleh gaya berat (Joule),

EP^1 = energi potensial awal (J),

EP^2 = energi potensial akhir (J).



Gambar ilustrasi Benda jatuh dari ketinggian memperlihatkan perubahan energi potensial menjadi usaha oleh gaya berat. – Ilustrasi Penerbit

Hubungan Usaha bersama Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki benda karena geraknya. Jika sebuah benda bermassa m mula-mula bergerak dengan kecepatan v^1 , lalu diberi gaya konstan F hingga kecepatannya menjadi v^2 setelah berpindah sejauh s , maka usaha yang dilakukan gaya tersebut adalah:

$$W_{AB} = \frac{1}{2}mv_{2^2} - \frac{1}{2}mv_{1^2}$$

Atau dapat dituliskan:

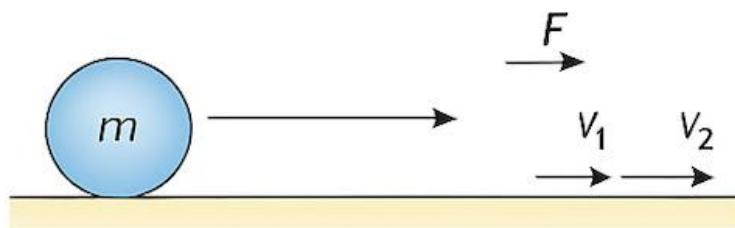
$$W_{AB} = EK_2 - EK_1 = \Delta EK$$

Dengan:

EK¹ = energi kinetik awal (J),

EK² = energi kinetik akhir (J),

ΔEK = perubahan energi kinetik (J).



Gambar ilustrasi Gaya mendorong benda hingga kecepatannya bertambah, menggambarkan hubungan usaha dan energi kinetik. – Ilustrasi Penerbit

Contoh Soal

Sebuah pegas memiliki konstanta gaya sebesar 200 N/m. Pegas tersebut ditarik sejauh 10 cm dari posisi setimbangnya. Hitunglah:

- Besar usaha yang dilakukan untuk menarik pegas.
- Energi potensial elastis yang tersimpan dalam pegas.

Pembahasan:

$$k = 200 \text{ N/m}$$

$$x = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

a. Usaha untuk menarik pegas:

Usaha oleh gaya pegas dirumuskan sebagai:

$$W = \frac{1}{2} kx^2$$

$$W = \frac{1}{2} (200)(0,1)^2$$

$$W = 0,5 \times 200 \times 0,01 = 1 \text{ J}$$

b. Energi potensial elastis:

Karena pegas berada dalam posisi tertarik, energi potensial elastis juga diberikan oleh:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 = 1 \text{ J}$$

Jadi, usaha yang dilakukan untuk menarik pegas sebesar 1 joule, dan energi potensial elastis yang tersimpan juga sebesar 1 joule.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Mengapa Roller Coaster Selalu Dimulai dari Titik Tertinggi?

Tahukah kamu? Saat naik roller coaster, kamu akan dibawa ke lintasan paling tinggi terlebih dahulu. Ternyata, ini bukan tanpa alasan! Titik tertinggi itu menyimpan energi potensial yang sangat besar. Nah, begitu kereta meluncur turun, energi potensial tersebut berubah menjadi energi kinetik yang membuat kereta melaju kencang. Semakin tinggi titik awalnya, semakin cepat lajunya!



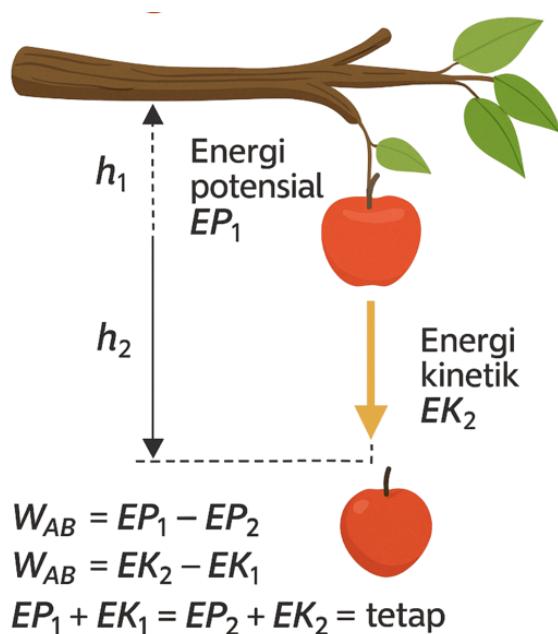
Roller Coaster – Canva.com



4. Prinsip Kekekalan Energi dalam Gerak Mekanik

Energi bersifat kekal, artinya tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, tetapi dapat berubah bentuk dari satu jenis ke jenis lainnya. Contohnya, saat bola dilemparkan ke atas, energi kinetiknya perlahan berkurang seiring dengan ketinggian yang bertambah. Energi ini berubah menjadi energi potensial. Pada titik tertinggi, bola hanya memiliki energi potensial. Ketika bola jatuh kembali, energi potensial berubah kembali menjadi energi kinetik. Jika bola mencapai tanah, maka seluruh energi potensial telah berubah menjadi energi kinetik. Proses ini menunjukkan bahwa energi tidak hilang, hanya berubah bentuk, yang dikenal sebagai hukum kekekalan energi mekanik.

Hukum kekekalan energi mekanik menyatakan bahwa dalam sistem tanpa gaya luar (seperti gesekan atau hambatan udara), jumlah energi mekanik suatu benda (gabungan energi potensial dan energi kinetik) akan selalu tetap. Artinya, meskipun energi potensial berubah menjadi energi kinetik atau sebaliknya, total energinya tetap sama.



Gambar ilustrasi Hukum Kekekalan Energi Mekanik – Ilustrasi Penerbit

Contohnya, lihat gambar di atas. Sebuah apel jatuh dari posisi A ke posisi B. Ketika apel berada di ketinggian tertentu (posisi A), ia memiliki energi potensial karena pengaruh gravitasi. Saat apel mulai jatuh dan bergerak, energi potensial berkurang, dan berubah menjadi energi kinetik. Semakin mendekati tanah, energi kinetiknya bertambah, sedangkan energi potensialnya semakin kecil. Energi totalnya tetap, selama tidak ada gaya luar yang bekerja.

Berdasarkan Perubahan Energi Potensial, Usaha dari A ke B

Usaha yang dilakukan saat benda berpindah dari titik A ke B dapat dihitung dari selisih energi potensialnya. Jika ketinggian benda berubah, maka energi potensial juga berubah. Rumus yang digunakan:

$$W_{AB} = mgh = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$$

Artinya, usaha merupakan selisih antara energi potensial awal dan energi potensial akhir:

$$W_{AB} = EP_1 - EP_2$$

Berdasarkan Perubahan Energi Kinetik, Usaha dari A ke B

Selain dari perubahan energi potensial, usaha juga bisa dihitung dari perubahan energi kinetik. Artinya, seberapa besar perubahan kecepatan benda akan mempengaruhi besar usaha yang dilakukan saat benda bergerak dari titik A ke B. Rumusnya:

$$W_{AB} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$W_{AB} = EK_2 - EK_1$$

Dengan menggabungkan perubahan energi potensial dan energi kinetik, maka dapat diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$EP_1 + EK_1 = EP_2 + EK_2 = \text{tetap}$$

Artinya, jumlah energi potensial dan energi kinetik, atau energi mekanik, akan selalu konstan:

$$EP_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = EP_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$EM_1 = EM_2$$

Keterangan:

EM : energi mekanik (Joule)

EK : energi kinetik (Joule)

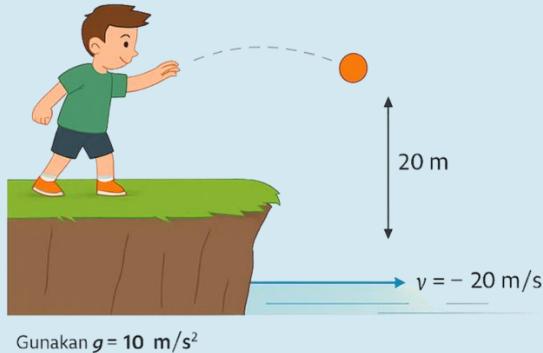
EP : energi potensial (Joule)

m : massa benda (kg)

v : kecepatan (m/s)

h : ketinggian (m)

Contoh Soal



Seorang anak melempar bola bermassa 0,5 kg dari atas tebing setinggi 20 m ke tanah. Ketika baru dilempar, bola belum memiliki kecepatan awal. Hitunglah:

- Usaha yang dilakukan berdasarkan perubahan energi potensial
- Kecepatan bola saat menyentuh tanah
- Usaha yang dilakukan berdasarkan perubahan energi kinetik

Gunakan: $g = 10 \text{ m/s}^2$

Pembahasan:

a. Usaha dari perubahan energi potensial

$$W_{AB} = mgh = 0,5 \times 10 \times 20 = 100 \text{ J}$$

b. Kecepatan bola saat menyentuh tanah

Gunakan rumus:

$$EP = EK \Rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$0,5 \times 10 \times 20 = \frac{1}{2} \times 0,5 \times v^2$$

$$100 = 0,25 \times v^2 \Rightarrow v^2 = 400 \Rightarrow v = 20 \text{ m/s}$$

c. Usaha dari perubahan energi kinetik

$$W_{AB} = EK_2 - EK_1 = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2} \times 0,5 \times 20^2 = 100 \text{ J}$$

Kesimpulan:

Baik dari perubahan energi potensial maupun energi kinetik, usaha yang dilakukan adalah **100 joule**, yang menunjukkan prinsip kekekalan energi mekanik.



5. Mengupas Konsep Daya dalam Fisika



Daya menggerakkan motor 100 cc – Canva.com

Konsep daya ini menjadi penting karena membantu kita memahami efisiensi kerja, baik pada manusia maupun mesin.

Pengertian Daya

Secara ilmiah, **daya (P)** didefinisikan sebagai usaha yang dilakukan dalam satu satuan waktu. Semakin besar usaha dan semakin singkat waktunya, semakin besar daya yang dihasilkan. Rumus dasar daya adalah:

$$P = \frac{W}{t}$$

dengan:

P = daya (Watt),

W = usaha (Joule),

t = waktu (sekon).



Contoh: Jika seseorang mengangkat beban dengan usaha 100 J dalam 20 detik, maka dayanya:

$$P = \frac{100}{20} = 5 \text{ Watt}$$

Gambar ilustrasi seseorang mengangkat beban – Ilustrasi Penerbit

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering mendengar istilah "daya" saat membicarakan kinerja mesin, kendaraan, atau alat elektronik. Misalnya, kipas angin 40 watt, motor 100 cc, atau mesin dengan 2 tenaga kuda. Namun, apa sebenarnya yang dimaksud dengan daya dalam konteks fisika?

Daya merupakan besaran yang menggambarkan seberapa cepat suatu usaha dilakukan. Artinya, dua orang bisa melakukan usaha yang sama besar, tetapi orang yang melakukannya dalam waktu lebih singkat memiliki daya yang lebih besar.

Hubungan Daya dengan Kecepatan Gerak

Daya juga berkaitan erat dengan **kecepatan gerak suatu benda**. Jika sebuah gaya F bekerja pada benda dan membuatnya bergerak sejauh s dalam waktu t , maka:

$$W = F \cdot s \quad \text{dan} \quad P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t}$$

Karena $\frac{s}{t} = v$, maka daya dapat dituliskan sebagai:

$$P = F \cdot v$$

dengan:

F = gaya (N),

v = kecepatan (m/s),

P = daya (Watt).

Contoh: Mesin mendorong troli dengan gaya 50 N dan troli melaju dengan kecepatan 3 m/s, maka:

$$P = 50 \cdot 3 = 150 \text{ Watt}$$

Contoh Soal

Seorang teknisi menarik mesin kecil dengan gaya konstan sebesar 80 N. Mesin tersebut bergerak lurus dengan kecepatan tetap 1,8 m/s. Hitunglah daya yang digunakan oleh teknisi tersebut!

Pembahasan

Diketahui:

$F = 80 \text{ N}$

$v = 1,8 \text{ m/s}$

Gunakan rumus daya:

$$P = F \cdot v = 80 \cdot 1,8 = 144 \text{ Watt}$$

Jadi, daya yang digunakan adalah 144 Watt.



Efisiensi (Daya Guna Energi)

Dalam sistem energi, tidak semua energi yang masuk dapat digunakan sepenuhnya. Sebagian hilang sebagai panas, bunyi, atau gesekan. Oleh karena itu, kita perlu mengetahui **efisiensi** untuk mengukur seberapa besar energi yang dimanfaatkan dari total energi yang tersedia.

Rumus efisiensi energi adalah:

$$\eta = \frac{E_{\text{keluar}}}{E_{\text{masuk}}} \times 100\%$$

dengan:

η = efisiensi (%),

E_{keluar} = energi berguna (J),

E_{masuk} = energi total yang diterima (J).

Contoh: Sebuah mesin menerima 800 J energi, tetapi hanya menghasilkan 600 J energi mekanik:

$$\eta = \frac{600}{800} \times 100\% = 75\%$$

Artinya, mesin tersebut hanya memanfaatkan 75% dari energi yang tersedia.

Kegiatan Praktikum

Energi Potensial Pegas

Judul:

Menyelidiki hubungan antara pertambahan panjang pegas dan energi potensial elastis pada bola karet.

Petunjuk Soal:

Sebuah kelompok siswa melakukan kegiatan eksperimen menggunakan pegas dan bola karet seperti gambar di bawah ini. Mereka mencatat data penyusutan panjang pegas setelah pegas diberikan bola karet, lalu mengukur tinggi maksimum pantulan bola setelah dilepaskan dari posisi setimbang.

Lengkapi tabel berikut dengan hasil perhitungan konstanta pegas dan gunakan rumus energi potensial elastis:

$$E_P = \frac{1}{2} kx^2$$

Tabel Data Pengamatan

No.	Penyusutan panjang pegas Δx (mm)	Ketinggian maksimum bola h (cm)	Konstanta Pegas k (N/m)	Energi Potensial Pegas E_P (J)
1	10	14
2	15	18
3	20	22
4	25	26

Pertanyaan Esai:

1. Hitunglah nilai konstanta pegas k untuk setiap pengukuran di atas dengan menggunakan data Δx dan h . **Gunakan pendekatan hukum Hooke dan prinsip kekekalan energi.**
2. Hitunglah energi potensial pegas E_P untuk masing-masing data.
3. Berdasarkan hasil percobaan, apakah semakin besar penyusutan pegas akan memengaruhi tinggi pantulan bola? Jelaskan alasanmu secara fisika!
4. Buatlah kesimpulan singkat tentang hubungan antara usaha pegas dan energi potensial berdasarkan hasil yang telah kamu hitung.
5. Tuliskan saran untuk meningkatkan ketelitian percobaan agar data yang diperoleh lebih akurat.

Rangkuman

- 1) Usaha (W) terjadi saat gaya menyebabkan perpindahan benda. Dihitung dengan rumus $W = F \cdot s \cdot \cos\theta$. Jika arah gaya berlawanan, usaha bernilai negatif.
- 2) Usaha Pegas mengikuti hukum Hooke, dengan rumus $W = \frac{1}{2}kx^2$, karena gaya pegas berubah seiring pertambahan panjang.
- 3) Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya berubah bentuk.
- 4) Energi Potensial (EP) timbul karena posisi, dirumuskan $EP = mgh$. Untuk pegas: $EP = \frac{1}{2}kx^2$.
- 5) Energi Kinetik (EK) adalah energi karena gerak, dirumuskan $EK = \frac{1}{2}mv^2$.
- 6) Hubungan Usaha dan Energi:
Usaha = perubahan energi potensial: $W = EP_1 - EP_2$ dan Usaha = perubahan energi kinetik: $W = EK_2 - EK_1$
- 7) Hukum Kekekalan Energi Mekanik yaitu Total energi mekanik (EP + EK) selalu tetap jika tidak ada gaya luar (misalnya gesekan).
- 8) Daya (P) adalah laju usaha, dirumuskan $P = \frac{W}{t}$ atau $P = F \cdot v$.
- 9) Efisiensi Energi mengukur perbandingan energi keluar dengan energi masuk, $\eta = \frac{E_{keluar}}{E_{masuk}} \times 100\%$.

Latihan Soal

1. Gaya $F = (6i + 2j) N$ bekerja pada suatu benda yang berpindah menurut $r = (4i + \alpha j) m$. Jika usaha yang dilakukan gaya tersebut adalah 44 joule, maka nilai α adalah ...
 - 5
 - 6
 - 7
 - 8
 - 9
2. Seorang anak melempar bola bermassa 1,5 kg vertikal ke atas dengan kecepatan 30 m/s. Jika bola berada pada $\frac{2}{3}$ dari ketinggian maksimum, maka energi kinetik bola tersebut adalah ...
 - 450 J
 - 300 J
 - 225 J
 - 150 J
 - 100 J
3. Sebuah benda dikenai gaya tetap 20 N hingga menempuh jarak 40 m dalam lintasan lurus. Kecepatan benda berubah dari 4 m/s menjadi 10 m/s. Maka massa benda tersebut adalah ...
 - 6 kg
 - 8 kg
 - 10 kg
 - 12 kg
 - 14 kg
4. Benda bermassa 2 kg dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Jika energi potensial saat itu adalah 0,5 dari energi kinetik maksimumnya, maka benda berada pada ketinggian ... ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
 - 2,5 m
 - 3,75 m
 - 5 m
 - 6,25 m
 - 7,5 m
5. Sebuah peluru bermassa 2 gram ditembakkan ke atas oleh pistol pegas dengan konstanta 100 N/m. Pegas ditekan sejauh 15 cm. Ketinggian maksimum peluru setelah ditembakkan adalah ...
 - 45 m
 - 55 m
 - 60 m
 - 70 m

- E. 75 m
6. Sebuah bola bermassa 3 kg dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 60 m/s. Saat kembali ke tanah, kecepatannya tinggal 30 m/s karena adanya gesekan udara. Energi yang hilang akibat gesekan udara adalah . . .
- A. 3.600 J
B. 2.250 J
C. 2.700 J
D. 1.350 J
E. 900 J
7. Sebuah bola bermassa 1 kg dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Namun karena adanya hambatan udara, bola hanya mencapai ketinggian 10 m. Besar gaya gesek udara selama bola naik jika dianggap konstan adalah . . .
- A. 5 N
B. 7 N
C. 9 N
D. 10 N
E. 11 N

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!



Referensi

- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Usaha (fisika). Wikipedia Bahasa Indonesia. [https://id.wikipedia.org/wiki/Usaha_\(fisika\)](https://id.wikipedia.org/wiki/Usaha_(fisika))
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Energi. Wikipedia Bahasa Indonesia. <https://id.wikipedia.org/wiki/Energi>
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Energi potensial. Wikipedia Bahasa Indonesia. https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_potensial
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Energi kinetik. Wikipedia Bahasa Indonesia. https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_kinetik
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Hukum Hooke. Wikipedia Bahasa Indonesia. https://id.wikipedia.org/wiki/Hukum_Hooke
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Pegas (fisika). Wikipedia Bahasa Indonesia. <https://id.wikipedia.org/wiki/Pegas>
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Daya (fisika). Wikipedia Bahasa Indonesia. [https://id.wikipedia.org/wiki/Daya_\(fisika\)](https://id.wikipedia.org/wiki/Daya_(fisika))
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Efisiensi energi. Wikipedia Bahasa Indonesia. https://id.wikipedia.org/wiki/Efisiensi_energi
- Wikipedia. (2024, 22 Juli). Hukum kekekalan energi. Wikipedia Bahasa Indonesia. https://id.wikipedia.org/wiki/Hukum_kekekalan_energi



BAB 5: MOMENTUM DAN IMPULS: RAHASIA GERAK DAN TABARAKAN

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong, Bernalar Kritis, dan Mandiri

Kata Kunci: Momentum, Impuls, Gaya, Tumbukan, Kekekalan Momentum, Koefisien Restitusi

Tujuan Pembelajaran: Memahami Prinsip Kekekalan Gerak dan Interaksi Gaya dalam Tumbukan

1. Menguraikan Keterkaitan Antara Momentum dan Impuls melalui Pemahaman Hukum Kekekalan Momentum
 - ▷ Menjelaskan konsep dasar momentum dan impuls secara konseptual dan matematis.
 - ▷ Mengaitkan hukum kekekalan momentum dengan penerapan dalam berbagai situasi nyata.
2. Mengidentifikasi Peristiwa Sehari-hari yang Menunjukkan Berlakunya Hukum Kekekalan Momentum
 - ▷ Mengamati contoh tumbukan dalam kehidupan, seperti kecelakaan kendaraan atau permainan bola.
 - ▷ Menjelaskan prinsip kekekalan momentum berdasarkan pengamatan terhadap peristiwa tersebut.

3. Menjelaskan Hubungan Antara Gaya, Impuls, dan Perubahan Momentum dalam Suatu Sistem Gerak

- ▷ Menganalisis pengaruh gaya terhadap perubahan kecepatan benda melalui konsep impuls.
- ▷ Menghitung besarnya impuls dan perubahan momentum akibat gaya yang bekerja.

4. Mengevaluasi Jenis-Jenis Tumbukan dan Menghubungkannya dengan Prinsip Kekekalan Momentum

- ▷ Membedakan tumbukan lenting sempurna, lenting sebagian, dan tidak lenting sama sekali.
- ▷ Menjelaskan bagaimana momentum sistem tetap kekal pada berbagai jenis tumbukan.

5. Menentukan Nilai Koefisien Restitusi melalui Percobaan Tumbukan Bola terhadap Permukaan Keras

- ▷ Melakukan percobaan jatuh bebas beberapa jenis bola untuk mengetahui elastisitas tumbukan.
- ▷ Menggunakan rumus koefisien restitusi untuk menganalisis hasil percobaan.

6. Menyajikan dan Mengolah Data Eksperimen Tumbukan dalam Bentuk Tabel dan Grafik

- ▷ Mengolah data pengamatan percobaan dengan baik.
- ▷ Menyusun hasil pengamatan percobaan dalam tabel sistematis.



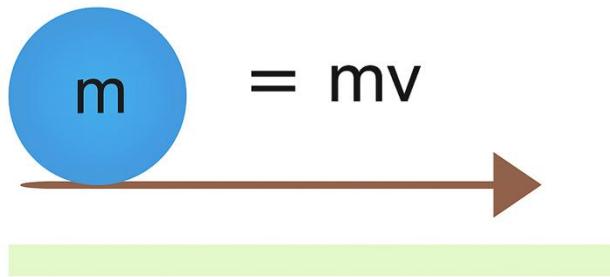
1. Dasar Teori Momentum dan Impuls

Momentum dan impuls adalah konsep penting dalam fisika yang membantu kita memahami gerakan dan tumbukan benda. Kedua konsep ini menjelaskan bagaimana benda bergerak, bagaimana gaya memengaruhi gerak, dan bagaimana perubahan gerak terjadi saat ada interaksi seperti pukulan atau benturan. Pada bagian ini, kamu akan mempelajari pengertian, rumus, dan contoh penerapan momentum serta impuls dalam kehidupan sehari-hari.

Momentum

Setiap benda yang bergerak dengan kecepatan tertentu akan memiliki **momentum**. Momentum menunjukkan sejauh mana sebuah benda mampu mempertahankan geraknya atau memengaruhi benda lain saat bertumbukan. Secara fisika, momentum didefinisikan sebagai hasil kali massa benda dan kecepatannya.

Momentum hanya dimiliki oleh benda yang sedang bergerak. Jika sebuah benda memiliki massa m dan bergerak dengan kecepatan v , maka besar momentum linear benda tersebut dinyatakan dengan persamaan:



Benda bermassa m yang bergerak dengan kecepatan v , besar momentum benda: mv . – Ilustrasi Penerbit

dengan:

p = momentum ($\text{kg} \cdot \text{m/s}$),

m = massa benda (kg),

v = kecepatan benda (m/s).

Karena kecepatan merupakan besaran vektor, maka momentum juga termasuk besaran vektor yang memiliki nilai dan arah. Arah momentum selalu searah dengan arah kecepatan gerak benda. Oleh karena itu, jika arah kecepatan berubah, maka arah momentum pun akan berubah pula. Dengan kata lain, momentum tidak hanya bergantung pada besar kecepatan, tetapi juga arah gerak benda.

Impuls

Impuls adalah hasil dari gaya yang bekerja pada suatu benda dalam selang waktu tertentu. Impuls menggambarkan seberapa besar pengaruh gaya terhadap perubahan momentum benda. Jika gaya yang bekerja besar atau bekerja dalam waktu lama, maka impuls yang diberikan juga besar.

Secara matematis, impuls dirumuskan sebagai:

$$I = F\Delta t$$

dengan:

I = impuls (N·s),

F = gaya impuls (N),

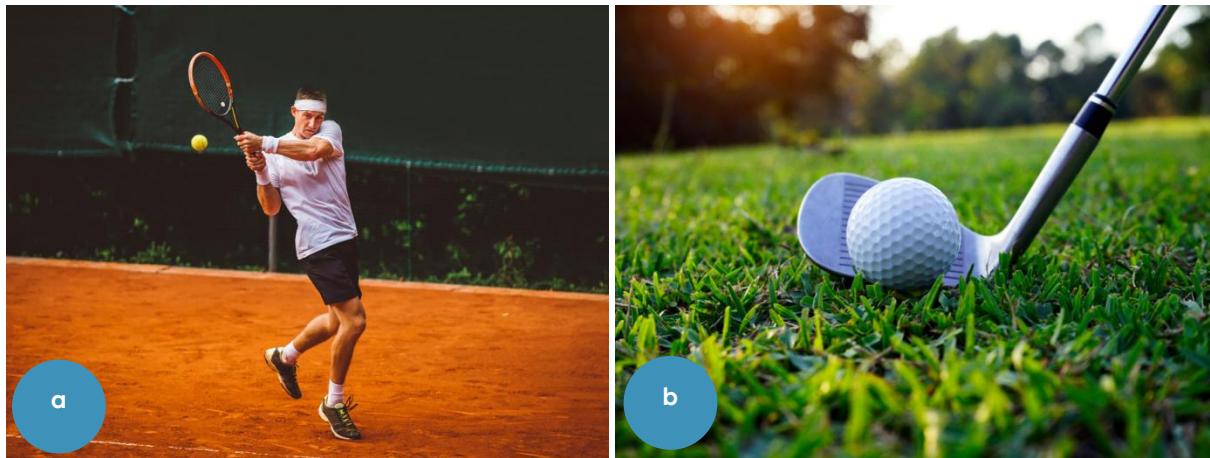
Δt = waktu gaya bekerja (s).

Impuls, seperti halnya momentum, merupakan besaran vektor. Arah impuls searah dengan arah gaya yang diberikan. Impuls tidak hanya sekadar hasil kali antara gaya dan waktu, tetapi juga mewakili kemampuan gaya tersebut dalam mengubah keadaan gerak suatu benda. Oleh karena itu, semakin besar impuls yang diberikan, semakin besar pula perubahan momentum yang dapat terjadi pada benda tersebut.

Aplikasi Impuls dalam Kehidupan Sehari-hari

Impuls memiliki banyak penerapan dalam kehidupan nyata, terutama dalam aktivitas olahraga. Sebagai contoh, saat seorang atlet tenis melakukan servis bola (**Gambar a**), ia mengayunkan raket dengan cepat untuk memberikan gaya dalam waktu singkat ke bola. Akibatnya, bola menerima impuls dan melaju ke depan dengan kecepatan tinggi.

Contoh lainnya dapat dilihat pada olahraga golf (**Gambar b**). Ketika tongkat golf menyentuh bola, gaya besar diberikan hanya dalam waktu yang sangat singkat. Hasilnya adalah impuls besar yang membuat bola meluncur jauh.



Saat atlet tenis melakukan servis bola, ia memberikan impuls agar bola melaju ke depan. (b) Hal yang sama juga terjadi ketika memukul bola dengan tongkat. – Canva.com

Ketika gaya bekerja dalam waktu sangat singkat dan menghasilkan perubahan momentum yang besar, seperti pada kasus memukul bola, impuls tersebut sering disebut sebagai **pukulan**.

Momentum dan impuls merupakan dua konsep penting dalam memahami berbagai fenomena gerak dan tumbukan. Keduanya adalah besaran vektor, yang artinya memiliki nilai dan arah. Momentum diperoleh dari hasil kali antara massa dan kecepatan, sedangkan impuls berasal dari hasil kali gaya dengan lamanya gaya tersebut bekerja. Keduanya saling berkaitan erat karena impuls dapat menyebabkan perubahan momentum. Pemahaman tentang hubungan ini menjadi landasan penting dalam mempelajari hukum kekekalan momentum yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Contoh Soal

Jelaskan mengapa momentum dikatakan sebagai besaran vektor, dan berikan contoh situasi di mana arah momentum memengaruhi hasil suatu peristiwa!

Pembahasan:

Momentum adalah hasil kali antara massa dan kecepatan. Karena kecepatan merupakan besaran vektor (mempunyai arah dan besar), maka momentum juga termasuk besaran vektor. Artinya, momentum tidak hanya tergantung pada nilai kecepatan, tetapi juga pada arah geraknya.

Contoh: Dua bola dengan massa yang sama bergerak dengan kecepatan yang sama tetapi dalam arah yang berlawanan. Meskipun besar momentumnya sama, arah momentumnya berbeda. Jika keduanya bertumbukan, momentum total sistem bisa menjadi nol karena momentum saling meniadakan.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Kenapa Airbag Bisa Menyelamatkan Nyawa?

Airbag menyelamatkan nyawa karena bekerja berdasarkan prinsip **impuls** dan **momentum**. Saat tabrakan, airbag memperpanjang waktu perlambatan Δt sehingga gaya benturan ($F=\Delta t/\Delta p$) jadi lebih kecil. Gaya yang lebih kecil artinya risiko cedera juga lebih rendah. Inilah alasan fisika di balik lebih dari 50.000 nyawa yang terselamatkan sejak 1987.





2. Keterkaitan Antara Impuls dan Perubahan Momentum

Dalam situasi sehari-hari, benda yang mengalami gaya akan mengalami perubahan kecepatan. Misalnya, jika sebuah benda bermassa m awalnya bergerak dengan kecepatan v_1 , kemudian gaya konstan F bekerja pada benda itu selama selang waktu Δt , maka kecepatannya dapat berubah menjadi v_2 . Perubahan kecepatan ini merupakan hasil dari adanya percepatan yang diberikan oleh gaya tersebut.

Menurut Hukum II Newton, percepatan yang dialami oleh benda dirumuskan sebagai:

$$a = \frac{F}{m}$$

Jika kita tinjau dari perubahan kecepatan terhadap waktu, maka hubungan antara percepatan, gaya, dan perubahan kecepatan bisa dituliskan sebagai:

$$\frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{F}{m}$$

Dengan mengalikan kedua ruas persamaan tersebut dengan massa m , kita peroleh:

$$m(v_2 - v_1) = F\Delta t$$

Kemudian, kita ketahui bahwa:

$$F\Delta t = mv_2 - mv_1 = p_2 - p_1$$

Sehingga kita dapat menyatakan hubungan antara impuls dan perubahan momentum sebagai:

$$I = \Delta p$$

dengan:

p_1 = momentum awal (kg · m/s)

p_2 = momentum akhir (kg · m/s)

Δp = perubahan momentum (kg · m/s)

I = impuls (N · s)

Persamaan ini menunjukkan bahwa impuls yang diberikan pada suatu benda selama selang waktu tertentu akan sama dengan perubahan momentumnya. Semakin besar gaya atau semakin lama gaya bekerja, semakin besar pula perubahan momentum yang dihasilkan.

Aplikasi dalam Kehidupan Sehari-hari

Pemahaman hubungan antara impuls dan momentum dapat diamati dalam berbagai peristiwa nyata, tidak hanya di laboratorium, tetapi juga dalam aktivitas sehari-hari.

a. Melompat dari Perahu

Ketika seseorang melompat dari perahu, tubuh orang tersebut memperoleh momentum ke arah depan akibat gaya dorong dari kakinya. Sebagai reaksi, perahu yang semula diam akan ter dorong ke belakang. Ini terjadi karena total momentum sistem (orang dan perahu) sebelum dan sesudah lompatan harus tetap sama, sesuai prinsip kekekalan momentum. Besarnya momentum yang dimiliki orang ke depan akan sama dengan momentum perahu ke belakang, tetapi arah berlawanan.



Dua orang yang melompat dari atas perahu –
Canva.com

b. Pukulan dalam Olahraga (Tenis dan Golf)

Dalam olahraga seperti tenis atau golf, pemain memberikan gaya besar dalam waktu sangat singkat pada bola. Misalnya saat raket tenis menyentuh bola servis, gaya bekerja selama sepersekian detik namun menghasilkan perubahan momentum besar—bola langsung melesat ke arah lawan. Hal serupa terjadi pada bola golf yang dipukul menggunakan tongkat. Gaya yang besar dan waktu kontak yang singkat menghasilkan impuls besar, mengakibatkan perubahan kecepatan yang drastis.

c. Airbag di Kendaraan

Dalam kendaraan, airbag membantu mengurangi cedera saat kecelakaan dengan memperbesar waktu kontak antara tubuh pengemudi dan dashboard. Meskipun perubahan momentum tetap terjadi (karena mobil berhenti mendadak), perpanjangan waktu gaya bekerja (Δt) menyebabkan gaya yang dirasakan tubuh menjadi lebih kecil. Ini merupakan contoh nyata pemanfaatan prinsip impuls dalam rekayasa keselamatan.

d. Menangkap Bola dengan Gerakan Mundur



Atlet baseball yang menangkap bola baseball dengan teknik mundur – Canva.com

Atlet yang menangkap bola keras sering kali menarik tangan ke belakang saat menerima bola. Teknik ini memperbesar waktu kontak, sehingga gaya tumbukan menjadi lebih kecil walaupun perubahan momentumnya tetap. Strategi ini mengurangi risiko cedera dan membuat tangkapan lebih aman.

Konsep impuls dan perubahan momentum membantu kita menjelaskan berbagai fenomena tumbukan, gerak, dan keselamatan dalam kehidupan. Pemahaman ini juga menjadi dasar dalam merancang alat-alat keselamatan serta meningkatkan performa dalam olahraga dan teknologi.

Contoh Soal

Sebuah bola bermassa 0,15 kg awalnya diam, lalu dipukul dengan tongkat sehingga kecepatannya berubah menjadi 20 m/s dalam waktu kontak selama 0,02 sekon.

- Hitung besar impuls yang diterima bola!
- Hitung gaya rata-rata yang diberikan oleh tongkat!
- Jelaskan hubungan antara impuls, gaya, dan perubahan momentum dalam peristiwa ini!

Pembahasan:

a. Menghitung impuls (I):

Karena bola awalnya diam, maka momentum awal $p_1 = 0$, dan momentum akhirnya $p_2 = mv$

$$I = \Delta p = p_2 - p_1 = mv - 0 = (0,15)(20) = 3 \text{ N}\cdot\text{s}$$

Jadi, impuls yang diterima bola adalah 3 N·s.

b. Menghitung gaya rata-rata (F):

Gunakan rumus:

$$I = F\Delta t \Rightarrow F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{3}{0,02} = 150 \text{ N}$$

Gaya rata-rata yang diberikan tongkat adalah 150 N.

c. Penjelasan hubungan:

Perubahan kecepatan bola menunjukkan adanya perubahan momentum. Karena momentum berubah, maka pasti ada impuls yang bekerja pada bola. Impuls ini dihasilkan oleh gaya tongkat selama kontak singkat. Semakin besar gaya atau semakin lama waktu kontak, semakin besar impuls dan semakin besar perubahan kecepatan (momentum) benda. Dalam kasus ini, tongkat memberi gaya besar dalam waktu singkat, menghasilkan impuls yang cukup besar untuk mengubah kecepatan bola dari diam menjadi 20 m/s.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Helm Bisa Selamatkan Nyawa karena Impuls!

Helm bukan hanya pelindung kepala—ia bekerja berdasarkan prinsip impuls. Saat terjadi benturan, busa di dalam helm memperpanjang waktu tumbukan, sehingga gaya yang diterima kepala jadi lebih kecil.

Dengan waktu kontak yang sedikit lebih lama, energi dan momentum diserap lebih aman, mencegah cedera serius. Fisika melindungi kepala kita!



Helm untuk pelindung kepala – Canva.com



3. Menjaga Momentum: Prinsip Kekekalan dalam Interaksi Benda

Ketika dua benda bertumbukan, terjadi pertukaran gaya dalam waktu yang sangat singkat. Proses ini merupakan contoh nyata dari penerapan **hukum kekekalan momentum**, yaitu prinsip yang menyatakan bahwa "jumlah momentum sebelum tumbukan sama dengan jumlah momentum sesudah tumbukan", selama tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem.

Interaksi Dua Benda: Tumbukan dan Gaya Aksi-Reaksi

Bayangkan dua benda A dan B bergerak segaris dalam arah yang berlawanan. Benda A memiliki kecepatan lebih tinggi dari benda B. Ketika keduanya bertumbukan, benda A memberikan gaya aksi pada benda B, dan benda B memberikan gaya reaksi dengan besar yang sama namun arah berlawanan. Ini sesuai dengan **Hukum III Newton**:

$$F_{BA} = F_{AB}$$

Gaya aksi dan reaksi ini bekerja dalam waktu sangat singkat (Δt), sehingga menghasilkan **impuls**:

$$F_{BA}\Delta t = -F_{AB}\Delta t$$

$$I_2 = -I_1$$

Jika kita meninjau perubahan momentum benda, maka:

$$p'_2 - p_2 = -(p'_1 - p_1)$$

$$m_2 v'_2 - m_2 v_2 = -m_1 v'_1 + m_1 v_1$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

dengan:

m_1, m_2 : massa benda sebelum tumbukan

v_1, v_2 : kecepatan awal

v'_1, v'_2 : kecepatan setelah tumbukan

Persamaan ini dikenal sebagai **hukum kekekalan momentum linier**.

Senapan dan Peluru: Prinsip Hukum Kekekalan Momentum dalam Peristiwa di Sekitar

Ketika peluru ditembakkan dari senapan, peluru bergerak maju, dan senapan ter dorong ke belakang (recoil). Sebelum ditembakkan:

- ▷ Kecepatan peluru dan senapan = 0

Sesudah ditembakkan:

- ▷ Momentum peluru dan momentum senapan harus saling mengimbangi:

$$m_p v'_p + m_s v'_s = 0$$

$$v'_s = -\frac{m_p v'_p}{m_s}$$

dengan:

m_p, v'_p : massa dan kecepatan peluru

m_s, v'_s : massa dan kecepatan senapan setelah tembakan

Tanda negatif pada v'_s menandakan bahwa arah gerak senapan berlawanan dengan peluru.



Turnamen olahraga senapan –
Canva.com

Roket dan Hembusan Gas

Prinsip kerja roket serupa dengan senapan. Ketika gas panas disemburkan ke bawah, roket ter dorong ke atas. Sebelum penyemburan:

$$p_{roket} + p_{gas} = 0$$

Setelah penyemburan:

$$p'_{roket} = (m - m'_{gas})v'_r$$

Momentum gas yang menyembur:

$$p'_{gas} = m'_{gas} v'_{gas}$$

$$0 = (m - m'_{gas})v'_r + m'_{gas}v'_{gas}$$

$$v'_r = \frac{m'_{gas}v'_{gas}}{m - m'_{gas}}$$

dengan:

m : massa total roket dan bahan bakarnya

m'_{gas} : massa gas yang disemburkan

v'_r : kecepatan roket setelah penyemburan

v'_{gas} : kecepatan gas yang disemburkan

Gaya Dorong Roket

Perubahan momentum roket menghasilkan impuls:

$$I = \Delta p = p'_{rocket} - p_{rocket}$$

$$F\Delta t = -m'_{gas}v'_{gas}$$

$$F = \frac{m'_{gas}v'_{gas}}{\Delta t}$$

dengan:

F : gaya dorong roket

Δt : waktu semburan gas

m'_{gas} : massa gas

v'_{gas} : kecepatan gas

Dengan memahami hukum kekekalan momentum, kita dapat menjelaskan berbagai fenomena seperti dorongan senapan, peluncuran roket, dan tumbukan benda secara ilmiah dan terukur.

Contoh Soal

Sebuah peluru bermassa 0,01 kg ditembakkan dari senapan bermassa 4 kg dengan kecepatan peluru 400 m/s. Hitunglah:

- Kecepatan mundur (recoil) senapan setelah peluru ditembakkan!
- Jelaskan bagaimana peristiwa ini menunjukkan hukum kekekalan momentum!

Pembahasan:

a. Menghitung kecepatan mundur senapan:

Gunakan hukum kekekalan momentum:

$$m_p v'_p + m_s v'_s = 0$$

$$v'_s = -\frac{m_p v'_p}{m_s} = -\frac{(0,01)(400)}{4} = -1 \text{ m/s}$$

Jadi, senapan terdorong mundur dengan kecepatan 1 m/s.

b. Penjelasan:

Sebelum tembakan, total momentum sistem = 0 (karena diam).

Setelah tembakan, peluru bergerak ke depan dan senapan ke belakang.

Total momentum tetap 0 karena momentum peluru dan momentum senapan saling meniadakan. Ini membuktikan bahwa **jumlah momentum sebelum dan sesudah peristiwa tetap sama**, sesuai dengan **hukum kekekalan momentum linier**.



Fakta Fisika di Sekitarmu



Astronot Bisa Bergerak di Luar Angkasa dengan Melempar Objek!

Di luar angkasa yang hampa udara, seorang astronot bisa bergerak ke arah berlawanan hanya dengan melempar benda seperti tabung alat atau botol air. Aksi sederhana ini menghasilkan impuls yang mengubah momentumnya.

Meskipun tanpa mesin, astronot tetap bisa berpindah posisi—berkat hukum kekekalan momentum!



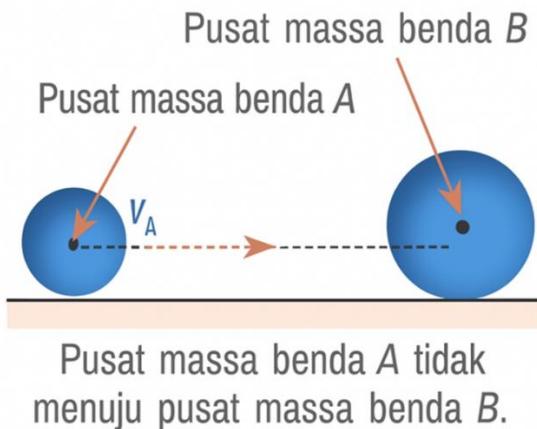


4. Ketika Benda Bertemu: Mengungkap Jenis dan Sifat Tumbukan

Tumbukan terjadi saat dua benda yang bergerak saling bersinggungan atau salah satu benda mengenai benda lainnya yang sedang diam. Dalam fisika, tumbukan merupakan interaksi penting karena dapat dianalisis menggunakan prinsip kekekalan momentum dan energi. Tumbukan dibedakan menjadi dua berdasarkan arah tumbukan yaitu, **tumbukan sentral** dan **tumbukan tidak sentral**, serta menjadi tiga berdasarkan sifat elastisitasnya yaitu, **lenting sempurna**, **lenting sebagian**, dan **tidak lengting sama sekali**.

Jenis Tumbukan Berdasarkan Arah: Tumbukan Tidak Sentral

Merupakan tumbukan yang terjadi ketika garis hubung titik singgung kedua benda tidak sejajar dengan garis yang menghubungkan pusat massa keduanya. Artinya, tumbukan ini tidak berlangsung secara frontal, sehingga dapat menyebabkan benda berotasi.



Tumbukan tidak sentral – Ilustrasi Penerbit

Jenis Tumbukan Berdasarkan Arah: Tumbukan Sentral

Terjadi jika garis singgung tumbukan tepat melalui pusat massa masing-masing benda, sehingga gaya tumbukan bekerja secara lurus. Tumbukan ini dapat digambarkan melalui tiga fase: sebelum tumbukan, saat tumbukan, dan sesudah tumbukan. Pada tumbukan sentral, hukum kekekalan momentum linier berlaku, serta hukum III Newton tetap dipatuhi:

$$F_{12} = -F_{21}$$

$$\frac{I_1}{\Delta t} = \frac{I_2}{\Delta t} \Rightarrow I_1 = I_2$$

$$\Delta p_1 = -\Delta p_2$$

Jika:

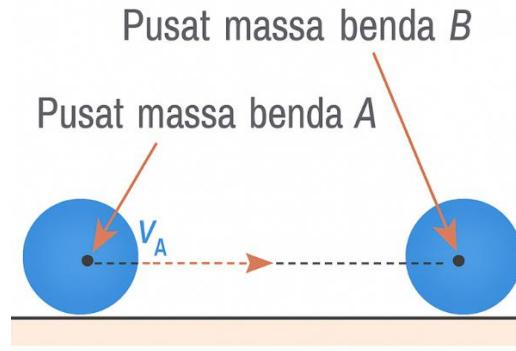
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

dengan:

m_1, m_2 : massa benda 1 dan 2

v_1, v_2 : kecepatan sebelum tumbukan

v'_1, v'_2 : kecepatan setelah tumbukan



Tumbukan sentral – Ilustrasi Penerbit

a. Karakteristik Tumbukan Lenting Sempurna

Dalam fisika, tumbukan lenting sempurna merupakan peristiwa tumbukan antara dua benda di mana tidak ada energi kinetik yang hilang. Seluruh energi kinetik yang dimiliki oleh sistem sebelum tumbukan akan tetap ada setelah tumbukan terjadi. Oleh karena itu, hukum kekekalan energi kinetik berlaku pada jenis tumbukan ini.

▷ Hukum Kekekalan Energi Kinetik

Pada tumbukan lenting sempurna, tidak ada energi kinetik yang hilang, sehingga berlaku kekekalan energi kinetik:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v'_1^2 + \frac{1}{2}m_2v'_2^2$$

Artinya, jumlah energi kinetik sebelum tumbukan ($\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$) sama dengan jumlah energi kinetik sesudah tumbukan ($\frac{1}{2}m_1v'_1^2 + \frac{1}{2}m_2v'_2^2$).

▷ Hubungan Kecepatan Sebelum dan Sesudah Tumbukan

Selain hukum kekekalan energi kinetik, tumbukan lenting sempurna juga memenuhi hubungan berikut:

$$v_1 + v_2 = v'_2 + v'_1$$

Rumus ini menunjukkan bahwa jumlah kecepatan relatif antara kedua benda sebelum tumbukan sama dengan jumlah kecepatan relatif mereka sesudah tumbukan (namun dalam arah yang berlawanan). Persamaan ini sering digunakan dalam proses penyelesaian soal untuk mencari kecepatan akhir benda.

▷ Koefisien Restitusi

Untuk menggambarkan seberapa lenting suatu tumbukan, digunakan besaran yang disebut **koefisien restitusi (e)**. Koefisien ini menyatakan perbandingan antara kecepatan relatif sesudah dan sebelum tumbukan:

$$e = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2}$$

Dalam tumbukan lenting sempurna, benda-benda yang bertumbukan akan kembali memantul tanpa kehilangan energi kinetik. Oleh karena itu:

$$e = 1$$

Nilai $e = 1$ menandakan bahwa tumbukan tersebut benar-benar lenting sempurna, tidak ada energi kinetik yang berubah menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara, atau deformasi permanen.

b. Karakteristik Tumbukan Lenting Sebagian

Tumbukan lenting sebagian adalah salah satu jenis tumbukan di mana dua benda bertumbukan namun **tidak seluruh energi kinetik dipertahankan** setelah tumbukan. Meskipun demikian, **hukum kekekalan momentum** tetap berlaku pada tumbukan jenis ini.

Pada tumbukan lenting sebagian, sebagian energi kinetik berubah menjadi bentuk energi lain, seperti panas, suara, atau menyebabkan deformasi sementara pada benda. Hal ini menyebabkan energi kinetik total setelah tumbukan lebih kecil dibandingkan sebelum tumbukan.

▷ Koefisien Restitusi pada Tumbukan Lenting Sebagian

Untuk mengukur kelentingan suatu tumbukan, digunakan **koefisien restitusi (e)**, yang nilainya berada dalam rentang:

$$0 < e < 1$$

Rumus koefisien restitusi tetap sama seperti pada tumbukan lainnya, yaitu:

$$e = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2}$$

Nilai e menunjukkan perbandingan antara **kecepatan relatif setelah tumbukan** terhadap **kecepatan relatif sebelum tumbukan**. Karena sebagian energi kinetik hilang, maka nilai e akan lebih kecil dari 1 tetapi lebih besar dari 0.

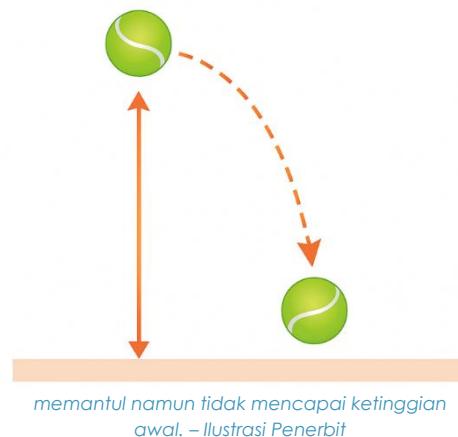
▷ Ciri-Ciri Tumbukan Lenting Sebagian

- 1) Momentum sistem tetap, sesuai dengan hukum kekekalan momentum.
- 2) Sebagian energi kinetik hilang selama tumbukan.
- 3) Koefisien restitusi bernilai antara 0 dan 1.
- 4) Arah gerak benda setelah tumbukan bisa berubah tergantung massa dan kecepatan awal benda-benda tersebut.

▷ Contoh dalam Kehidupan Sehari-hari

Contoh paling umum dari tumbukan lenting sebagian adalah ketika bola tenis dijatuhkan ke lantai keras. Setelah menyentuh lantai, bola akan memantul kembali, tetapi tidak setinggi sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian energi kinetik bola hilang saat terjadi tumbukan, misalnya berubah menjadi bunyi atau energi panas akibat gesekan dan deformasi bola saat kontak dengan lantai.

Berikut adalah gambaran situasi tumbukan lenting sebagian:



c. Karakteristik Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada jenis tumbukan ini, dua benda yang bertumbukan menyatu dan bergerak bersama setelah tumbukan terjadi. Artinya, setelah tumbukan, kedua benda memiliki kecepatan akhir yang sama, yang dapat dihitung dengan rumus:

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Energi kinetik total tidak kekal karena sebagian besar energi berubah menjadi bentuk lain seperti panas, suara, atau deformasi permanen.

Koefisien restitusinya:

$$e = 0$$

Contoh nyata yakni pada sambungan gerbong kereta api yang saling menempel setelah bertumbukan. Gerbong akan melanjutkan gerak bersama sebagai satu kesatuan.



Sambungan gerbong kereta api yang saling menempel – Canva.com

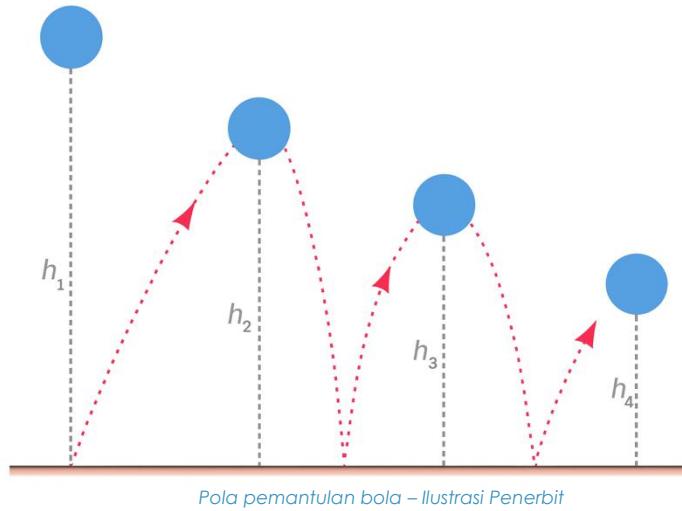


d. Tumbukan Khusus: Bola dengan Lantai

Ketika sebuah bola dijatuhkan ke lantai dan memantul, terjadi tumbukan antara bola dan permukaan lantai. Dengan mengukur tinggi jatuh dan tinggi pantulan, kita dapat menentukan koefisien restitusi:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} \quad \text{dan} \quad v'_1 = \sqrt{2gh_2}$$

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$



Pola pemanjulan bola – Ilustrasi Penerbit

Jika bola terus dipantulkan, koefisien restitusi setiap pantulan dapat dituliskan:

$$e = \sqrt{\frac{h_{n+1}}{h_n}}$$

e. Ayunan Balistik

Ayunan balistik digunakan untuk menentukan kecepatan proyektil seperti peluru, berdasarkan hukum kekekalan momentum dan energi. Saat peluru bermassa m_p ditembakkan dengan kecepatan v_p ke balok bermassa m_B , dan bersarang di dalamnya:

$$m_p v_p = (m_p + m_B) v$$

Setelah tumbukan, tinggi maksimum ayunan balok dapat digunakan untuk menentukan kecepatan peluru:

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v_p = \frac{(m_p + m_B)}{m_p} \sqrt{2gh}$$

Dengan memahami berbagai jenis dan sifat tumbukan, siswa dapat menjelaskan fenomena-fenomena nyata seperti pantulan bola, sambungan kereta, hingga ayunan peluru dalam uji balistik secara fisik dan matematis.

Contoh Soal

Dua benda mengalami tumbukan sentral lurus. Benda A bermassa 2 kg bergerak ke kanan dengan kecepatan 4 m/s, sedangkan benda B bermassa 3 kg bergerak ke kiri dengan kecepatan 2 m/s. Setelah tumbukan, benda A bergerak ke kiri dengan kecepatan 1 m/s.

Hitunglah kecepatan benda B setelah tumbukan tersebut!

Pembahasan:

Diketahui:

$$m_1 = 2 \text{ kg}, v_1 = +4 \text{ m/s}$$

$$m_2 = 3 \text{ kg}, v_2 = -2 \text{ m/s}$$

$$v'_1 = -1 \text{ m/s}$$

Ditanya: v'_2 ?

Gunakan hukum kekekalan momentum:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

$$(2)(4) + (3)(-2) = (2)(-1) + (3)v'_2$$

$$8 - 6 = -2 + 3v'_2 \Rightarrow 2 = -2 + 3v'_2 \Rightarrow 4 = 3v'_2 \Rightarrow v'_2 = \frac{4}{3} \approx 1,33 \text{ m/s}$$

Kecepatan benda B setelah tumbukan adalah **sekitar 1,33 m/s ke kanan**.

Rangkuman

1) Pengertian Momentum dan Impuls

- ▷ Momentum adalah besaran vektor yang menyatakan kecenderungan benda mempertahankan geraknya, dirumuskan sebagai: $p = mv$ dengan p = momentum ($kg \cdot m/s$), m = massa (kg), dan v = kecepatan (m/s).
- ▷ Impuls adalah gaya yang bekerja dalam waktu tertentu, menghasilkan perubahan momentum. Dirumuskan sebagai: $I = F\Delta t$ dengan I = impuls ($N \cdot s$), F = gaya (N), dan Δt = waktu (s).

2) Hubungan antara Impuls dan Momentum

- ▷ Impuls sama dengan perubahan momentum: $I = \Delta p = mv_2 - mv_1$
- ▷ Besarnya impuls bergantung pada besar gaya dan lamanya gaya bekerja.

3) Hukum Kekekalan Momentum

Dalam sistem tertutup dan tidak ada gaya luar, jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukan tetap: $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$

4) Aplikasi Momentum dan Impuls dalam Kehidupan

- ▷ Olahraga: Gaya besar dalam waktu singkat (seperti servis tenis atau pukulan golf) menghasilkan impuls besar.
- ▷ Keselamatan: Airbag memperpanjang waktu tumbukan, mengurangi gaya benturan.
- ▷ Transportasi: Roket meluncur di ruang hampa karena perubahan momentum gas pembakaran.
- ▷ Recoil Senapan: Saat peluru keluar, senapan ter dorong ke belakang sebagai reaksi terhadap momentum peluru.

5) Jenis-Jenis Tumbukan

- ▷ Tumbukan Lenting Sempurna: Energi kinetik dan momentum keduanya kekal; $e = 1$.
- ▷ Tumbukan Lenting Sebagian: Momentum kekal, energi kinetik sebagian hilang; $0 < e < 1$.
- ▷ Tumbukan Tidak Lenting: Benda menyatu setelah tumbukan; $e = 0$, energi kinetik banyak hilang.

6) Koefisien Restitusi

- ▷ Mengukur kelentingen tumbukan: $e = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2}$
- ▷ Dihitung juga dari tinggi pantulan pada tumbukan vertikal: $e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$

7) Tumbukan Sentral dan Tidak Sentral

- ▷ Sentral: Gaya tumbukan searah garis pusat massa benda.
- ▷ Tidak Sentral: Gaya tumbukan menyebabkan rotasi benda, tidak sejajar garis pusat massa.

8) Ayunan Balistik

Metode untuk menentukan kecepatan proyektil menggunakan hukum kekekalan momentum dan energi: $v_p = \frac{(m_p + m_B)}{m_p} \sqrt{2gh}$

Latihan Soal

1. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan tertentu dan menumbuk tembok hingga berhenti. Benda mana yang akan mengalami gaya terbesar?
 - A. Benda bermassa 30 kg dengan kecepatan 20 m/s
 - B. Benda bermassa 60 kg dengan kecepatan 12 m/s
 - C. Benda bermassa 90 kg dengan kecepatan 8 m/s
 - D. Benda bermassa 120 kg dengan kecepatan 6 m/s
 - E. Benda bermassa 150 kg dengan kecepatan 4 m/s
2. Seorang pemain tenis memukul bola dengan kekuatan 200 N. Jika bola tersebut melambung dengan kecepatan 140 m/s, berapa lama bola menyentuh raket?
 - A. 0,1 s
 - B. 0,2 s
 - C. 0,3 s
 - D. 0,4 s
 - E. 0,5 s
3. Sebuah bola tenis yang bergerak dengan kecepatan 2 m/s dipukul dengan gaya F yang mengubah arah gerak bola menjadi 6 m/s. Jika waktu bola bersentuhan dengan pemukul adalah 0,05 detik, berapa besar perubahan momentumnya?
 - A. $3 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
 - B. $4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
 - C. $5 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
 - D. $6 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
 - E. $7 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
4. Sebuah senapan menembakkan peluru bermassa 150 g dengan kecepatan 250 m/s. Seseorang yang memegang senapan tersebut dapat menahan dorongan dengan gaya 200 N. Jumlah maksimum peluru yang dapat ditembakkan dalam 30 detik adalah?
 - A. 100 butir
 - B. 150 butir
 - C. 200 butir
 - D. 250 butir
 - E. 300 butir
5. Seorang pelompat melompat dari perahu yang diam dengan kecepatan 8 m/s ke arah utara. Jika massa perahu dan massa orang tersebut masing-masing 80 kg dan 60 kg, kecepatan perahu setelah orang tersebut melompat adalah?
 - A. 4 m/s ke utara
 - B. 5 m/s ke selatan
 - C. 6 m/s ke utara

- D. 8 m/s ke selatan
- E. 10 m/s ke utara
6. Dua bola yang memiliki massa sama bergerak saling mendekati dengan kecepatan 12 m/s dan 15 m/s. Jika keduanya bertumbukan lengkap sempurna, kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan adalah?
- A. 12 m/s dan 15 m/s
- B. 15 m/s dan 12 m/s
- C. 10 m/s dan 17 m/s
- D. 13 m/s dan 14 m/s
- E. 14 m/s dan 13 m/s
7. Sebuah senjata meledak dan terbagi menjadi dua bagian yang bergerak berlawanan. Jika perbandingan massa bagian tersebut adalah 3:2 dan energi yang dibebaskan adalah 4×10^6 J, perbandingan energi kinetik antara kedua bagian tersebut adalah?
- A. 5:6
- B. 4:5
- C. 6:7
- D. 5:3
- E. 3:2

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!

Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 5



Referensi

- Impulse (physics). (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Impulse_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Impulse_(physics))
- Momentum. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://en.wikipedia.org/wiki/Momentum>
- Conservation of momentum. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari https://en.wikipedia.org/wiki/MomentumConservation_of_momentum
- Newton's laws of motion. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_laws_of_motion
- Collision. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://en.wikipedia.org/wiki/Collision>
- Elastic collision. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari https://en.wikipedia.org/wiki/Elastic_collision
- Inelastic collision. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari https://en.wikipedia.org/wiki/Inelastic_collision
- Rocket engine. (n.d.). Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari https://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_engine



BAB 6: ROTASI DAN KESETIMBANGAN PADA BENDA TEGAR

Karakter Pelajar Pancasila

Bernalar kritis, Kreatif, dan Mandiri

Kata Kunci: Gerak rotasi, Gerak translasi, Menggelinding, Momen gaya (Torsi), Momen inersia, Energi kinetik rotasi, Titik berat, Titik massa, Percobaan Atwood, Bidang miring

Tujuan Pembelajaran: Mengkaji Hubungan Energi Rotasi dan Translasi

- Menjelaskan karakteristik gerak menggelinding serta kaitannya dengan gerak rotasi dan translasi**
 - Menyebutkan perbedaan dan persamaan antara gerak rotasi, translasi, dan menggelinding.
 - Menghubungkan variabel kecepatan sudut dengan kecepatan linear dalam gerak menggelinding.
- Mengkaji hubungan antara usaha, energi kinetik rotasi, dan energi kinetik translasi pada benda yang bergerak menggelinding**
 - Mengidentifikasi bentuk energi yang dimiliki benda saat mengalami gerak rotasi dan translasi.
 - Menganalisis hukum kekekalan energi dalam gerak menggelinding.
- Menganalisis pengaruh momen gaya (torsi) terhadap perubahan gerak rotasi benda**

- ▷ Menentukan besar torsi yang bekerja pada benda berdasarkan arah dan titik tangkap gaya.
- ▷ Menjelaskan hubungan antara torsi dan percepatan sudut berdasarkan hukum Newton untuk rotasi.

4. Melaksanakan percobaan fisika sederhana untuk mengamati prinsip gerak menggelinding

- ▷ Merancang dan melakukan percobaan untuk mengamati lintasan benda menggelinding.
- ▷ Mengamati dan mencatat data perubahan kecepatan dan rotasi dari hasil eksperimen.

5. Menyusun laporan data dan grafik hasil percobaan menggelinding dengan menggunakan bidang miring dan sistem Atwood

- ▷ Membuat grafik hubungan waktu, kecepatan, dan sudut terhadap posisi pada gerak menggelinding.
- ▷ Menyimpulkan konsep fisis dari hasil eksperimen melalui interpretasi grafik dan data.

F I T R I



1. Momen Gaya dan Momen Inersia

Momen Gaya

Ketika sebuah benda menggelinding, ia mengalami dua jenis gerak sekaligus, yaitu gerak translasi dan rotasi. Jika gaya bekerja melalui pusat massa benda, maka benda tersebut akan mengalami gerak translasi. Namun, jika gaya bekerja tidak melalui pusat massa, maka benda tidak hanya bergerak translasi tetapi juga akan berotasi.

Misalnya, sebuah roda yang ditarik oleh gaya horizontal F . Jika roda berada di atas lantai licin dan gaya F melalui pusat massa, roda hanya bergerak translasi. Namun, jika lantainya kasar, maka selain gaya F , ada gaya gesekan f yang timbul, bekerja di luar pusat massa, menyebabkan roda juga berotasi.

Gerak rotasi muncul karena adanya momen gaya, yaitu efek dari gaya yang bekerja tidak tepat di pusat rotasi. Momen gaya atau torsi merupakan hasil perkalian silang antara lengan gaya (jarak dari pusat rotasi ke titik kerja gaya) dan vektor gaya. Rumus momen gaya secara matematis adalah:

$$\tau = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\tau = rF \sin \theta$$

Dengan:

τ = momen gaya (N·m)

r = lengan momen (m)

F = besar gaya (N)

θ = sudut antara r dan F

Jika terdapat lebih dari satu gaya yang bekerja pada suatu benda, maka momen total merupakan penjumlahan dari momen masing-masing gaya:

$$\tau = \vec{r}_1 \times (-\vec{F}_1) + \vec{r}_2 \times (-\vec{F}_2) + \vec{r}_3 \times (-\vec{F}_3)$$

$$\tau = \sum (\vec{r} \times \vec{F}) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 +$$

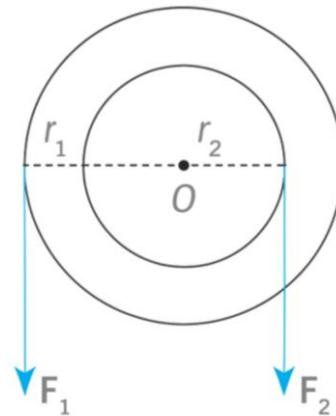
Momen gaya memiliki arah dan dapat bernilai positif atau negatif tergantung arah rotasinya. Arah searah jarum jam bernilai positif, sedangkan berlawanan arah jarum jam bernilai negatif.

Momen Inersia

Pada gerak translasi, benda cenderung mempertahankan keadaannya (diam atau bergerak lurus beraturan). Sifat ini disebut lembam atau inert, dan ukurannya disebut inersia. Dalam gerak rotasi, konsep inersia juga berlaku. Setiap benda berotasi akan cenderung mempertahankan kecepatan sudutnya. Ukuran kelembaman rotasi ini disebut momen inersia.

a. Momen Inersia Satu Partikel

Jika partikel bermassa m berjarak r dari sumbu putar dan berputar dengan kecepatan sudut ω , maka kecepatan linear partikel:



Dua roda pada poros yang sama –
Ilustrasi penerbit

$$v = \omega r$$

Energi kinetik partikel:

$$EK = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(\omega r)^2 = \frac{1}{2}(mr^2)\omega^2$$

Di mana mr^2 disebut momen inersia (I), sehingga:

$$I = mr^2$$

Dengan:

m = massa partikel (kg)

r = jarak dari sumbu putar (m)

I = momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

Jika terdapat beberapa partikel:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + m_3r_3^2 = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

b. Momen Inersia Benda Tegar

Benda tegar adalah benda yang bentuknya tidak berubah meskipun diberi gaya. Momen inersia benda tegar bergantung pada distribusi massanya terhadap sumbu rotasi. Rumus umum momen inersia benda tegar:

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

Dengan:

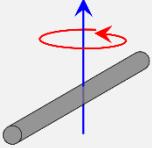
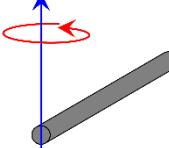
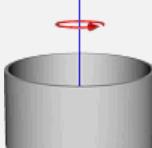
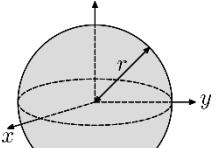
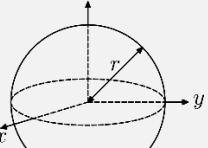
r = jarak dari sumbu putar (m)

dm = elemen massa

I = momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

ρ = massa jenis, dV = elemen volume

Tabel Beberapa Momen Skalar Inersia

Batang berputar melalui pusatnya $I = \frac{1}{12}mL^2$	Batang berputar pada salah satu ujungnya $I = \frac{1}{3}mL^2$	Silinder tipis berputar pada diameter pusat $I = mr^2$	Bola pejal berputar pada pusatnya $I = \frac{2}{5}mr^2$	Bola berongga berputar melalui pusatnya $I = \frac{2}{3}mr^2$
				

Contoh Soal

Sebuah partikel bermassa 2 kg diputar mengelilingi sumbu tetap dengan jari-jari lintasan 0,5 m. Hitunglah momen inersia partikel tersebut terhadap sumbu putarnya!

Pembahasan:

Diketahui:

Massa partikel $m = 2 \text{ kg}$

Jarak dari sumbu putar $r = 0,5 \text{ m}$

Gunakan rumus momen inersia untuk satu partikel:

$$I = mr^2$$

Substitusi nilai:

$$I = 2 \times (0,5)^2 = 2 \times 0,25 = 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Jadi, momen inersia partikel terhadap sumbu putarnya adalah $0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$



Fakta Fisika di Sekitarmu

Pemain figure skating bisa memutar lebih cepat hanya dengan merapatkan tangan!

Saat seorang skater menarik tangannya ke dalam saat berputar, ia mengurangi momen inersianya, sehingga kecepatan sudutnya meningkat secara drastis. Ini adalah hukum kekekalan momentum sudut dalam aksi nyata. Fenomena ini tampak seperti sihir tapi dijelaskan oleh fisika!

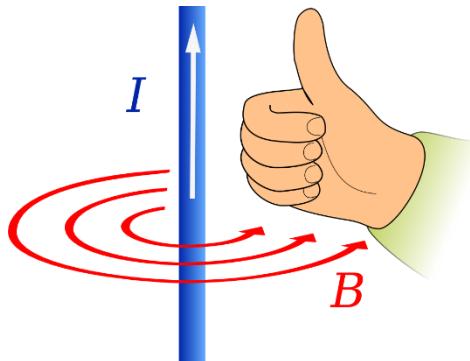


Julia Sauter Tampil di Short Program Figure Skating Dunia 2024 – en.Wikipedia.org



2. Momentum Sudut dan Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Momentum Sudut



Aturan tangan kanan pada momentum sudut – id.wikipedia.org

Momentum sudut atau momentum angular merupakan analog dari momentum linear dalam rotasi. Didefinisikan sebagai:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m\vec{r} \times \vec{v}$$

Karena $v = \omega r$, maka $L = mr \cdot (\omega r) = mr^2$

Karena $I = mr^2$, maka $L = I \omega$

Dengan:

L = momentum sudut ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)

I = momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

Arah L ditentukan dengan kaidah tangan kanan.

Hubungan Momentum Sudut dan Momen Gaya

Berdasarkan hukum II Newton $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ jika dikalikan dengan r :

$$\tau = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Artinya, momen gaya menyebabkan perubahan momentum sudut. Jika momen gaya konstan dan bekerja dalam waktu tertentu, maka terjadi impuls sudut:

$$\Delta L = \tau \Delta t$$

Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Jika tidak ada momen gaya eksternal yang bekerja:

$$\tau = 0$$

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = 0$$

$$L_1 = L_2$$

Sehingga:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

Hukum ini menyatakan bahwa jika tidak ada gaya luar, momentum sudut sistem adalah tetap. Prinsip ini juga digunakan dalam berbagai fenomena, seperti rotasi penari balet yang merentangkan dan melipat tangan. Ketika tangannya direntangkan, r besar, sehingga I besar dan ω kecil. Sebaliknya, saat dilipat, r mengecil, I kecil, dan ω membesar.

$$mr_1^2 \omega_1 = mr_2^2 \omega_2$$

Contoh Soal

Seorang penari balet bermassa 50 kg sedang berputar dengan jari-jari putaran 0,6 m dan kecepatan sudut awal $\omega_1 = 2 \text{ rad/s}$. Saat penari melipat tangannya, jari-jari putaran mengecil menjadi 0,3 m. Hitunglah kecepatan sudut baru (ω_2) setelah tangannya dilipat, dengan mengabaikan momen gaya luar!

Pembahasan:

Gunakan hukum kekekalan momentum sudut:

$$mr_1^2 \omega_1 = mr_2^2 \omega_2$$

Karena massa m konstan, maka:

$$r_1^2 \omega_1 = r_2^2 \omega_2$$

Substitusi nilai:

$$(0,6)^2 \cdot 2 = (0,3)^2 \cdot \omega_2$$

$$0,36 \cdot 2 = 0,09 \cdot \omega_2$$

$$0,72 = 0,09 \cdot \omega_2$$

$$\omega_2 = \frac{0,72}{0,09} = 8 \text{ rad/s}$$

Jadi, kecepatan sudut setelah tangan dilipat adalah 8 rad/s

Kegiatan Kelompok 1

Eksperimen Rotasi dan Kekekalan Momentum Sudut

Tujuan: Memahami konsep momentum sudut dan hukum kekekalan momentum sudut melalui percobaan sederhana serta mengamati pengaruh perubahan momen inersia terhadap kecepatan sudut.

Alat dan Bahan:

- 1. Kursi putar
- 2. Dua beban tangan (misalnya botol air, dumbbell kecil)
- 3. Stopwatch
- 4. Alat tulis dan lembar kerja

Langkah-Langkah:

- 1) Satu anggota kelompok duduk di atas kursi putar sambil memegang beban di kedua tangan dan tangan direntangkan.
- 2) Teman lainnya memutar kursi secara perlahan agar orang yang duduk mulai berputar.
- 3) Setelah kursi berputar stabil, orang yang duduk menarik kedua tangannya ke arah tubuh.
- 4) Amati dan catat perubahan kecepatan putaran kursi sebelum dan sesudah tangan ditarik ke dalam.
- 5) Ulangi percobaan dan catat waktu atau jumlah putaran per detik jika memungkinkan.
- 6) Diskusikan hasilnya dengan menggunakan konsep: $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

Pertanyaan Diskusi:

- 1) Apa yang terjadi pada kecepatan putaran saat tangan ditarik ke dalam?
- 2) Mengapa perubahan ini terjadi jika tidak ada gaya luar yang bekerja?
- 3) Bagaimana hal ini membuktikan hukum kekekalan momentum sudut?



3. Gerak Menggelinding dan Energi Kinetik Benda Tegar

Gerak Menggelinding

Ketika sebuah roda bergerak di atas bidang datar yang kasar, roda tersebut akan mengalami dua jenis gerak secara bersamaan: gerak translasi dan gerak rotasi. Kombinasi dari kedua gerak ini disebut sebagai gerak menggelinding.

a. Roda Menggelinding di Atas Bidang Datar Kasar

Sebuah roda pejal yang ditarik oleh gaya F dan melalui pusat massa akan mengalami translasi. Ketika roda bergerak di atas permukaan kasar, akan timbul gaya gesek antara roda dan permukaan yang menyebabkan roda juga berotasi.

Untuk gerak translasi:

$$\sum F = ma$$

$$F - f = ma$$

Untuk gerak rotasi:

$$\tau = fr$$

Karena momen gaya τ menyebabkan percepatan sudut α , maka:

$$I\alpha = fr$$

Dengan $\alpha = \frac{a}{r}$, maka:

$$f = \frac{Ia}{r^2}$$

Substitusi ke dalam persamaan translasi:

$$F - \frac{Ia}{r^2} = ma$$

$$F = ma + \frac{Ia}{r^2}$$

Maka percepatan translasi roda dapat dirumuskan sebagai:

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

Dengan:

F = gaya tarik (N)

m = massa benda (kg)

I = momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

r = jari-jari roda (m)

f = gaya gesekan (N)

a = percepatan translasi (m/s^2)

α = percepatan sudut (rad/s^2)



Roda yang bergerak pada bidang kasar – id.wikipedia.org

b. Alat Jatuh Atwood

Alat Atwood merupakan sistem dua beban m_1 dan m_2 yang dihubungkan dengan katrol melalui tali. Beban memiliki massa berbeda dan bergerak sambil menyebabkan katrol berotasi.

Persamaan Gerak Translasi:

Untuk m_1 :

$$T_1 - w_1 = m_1 a$$

$$T_1 = w_1 + m_1 a$$

Untuk m_2 :

$$w_2 - T_2 = m_2 a$$

$$T_2 = w_2 - m_2 a$$

Persamaan Gerak Rotasi Katrol:

Katrol dipengaruhi oleh momen gaya akibat perbedaan tegangan tali:

$$\tau = I\alpha = (T_2 - T_1)r$$

Dengan $\alpha = \frac{a}{r}$, maka:

$$T_2 - T_1 = \frac{Ia}{r^2}$$

Gabungkan semua persamaan:

$$(w_2 - m_2 a) - (w_1 + m_1 a) = \frac{Ia}{r^2}$$

Penyelesaian akhir percepatan sistem:

$$a = \frac{w_2 - w_1}{m_1 + m_2 + \frac{I}{r^2}} = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2 + \frac{I}{r^2}}$$

Energi Kinetik Benda Tegar

Setiap benda yang bergerak memiliki energi kinetik. Pada gerak menggelinding, energi kinetik terbagi dua:

- Energi kinetik translasi berlaku untuk benda yang bergerak lurus.
- Energi kinetik rotasi berlaku untuk benda yang berputar terhadap sumbu tetap.

Total energi kinetik gerak menggelinding:

$$E_{k,total} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Contoh Soal

Sebuah silinder pejal bermassa 4 kg dan berjari-jari 0,2 m menggelinding tanpa tergelincir dengan kecepatan linear 3 m/s. Hitunglah total energi kinetik silinder tersebut!

Pembahasan:

Total energi kinetik benda yang menggelinding terdiri dari energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasi, dirumuskan sebagai:

$$E_{k,total} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Untuk silinder pejal, momen inersia terhadap sumbu pusat adalah:

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

Diketahui:

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

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

$$v = 3 \text{ m/s}$$

Karena menggelinding tanpa tergelincir: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{3}{0,2} = 15 \text{ rad/s}$

Hitung I:

$$I = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot (0,2)^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0,04$$

$$= 0,08 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Substitusi ke rumus total energi kinetik:

$$E_{k,total} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 3^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,08 \cdot 15^2$$

$$E_{k,total} = 2 \cdot 9 + 0,04 \cdot 225 = 18 + 9 = 27 \text{ J}$$

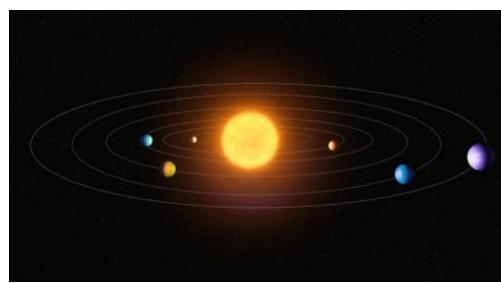
Jadi, total energi kinetik silinder tersebut adalah 27 J



Fakta Fisika di Sekitarmu

Momentum sudut adalah alasan kenapa planet-planet tetap berada di orbitnya!

Ketika planet terbentuk, mereka mulai berputar dan mengorbit. Karena tidak ada momen gaya eksternal besar yang bekerja pada mereka, momentum sudut mereka tetap. Inilah yang membuat orbit tetap stabil selama miliaran tahun!!





4. Titik Berat dan Titik Massa

Titik Berat

Titik berat adalah titik tangkap gaya berat total dari seluruh bagian benda. Gaya berat dari tiap-tiap bagian dianggap sejajar karena pengaruh gravitasi Bumi. Untuk benda di ruang tiga dimensi, titik berat (x_0, y_0, z_0) dapat dihitung:

$$x_0 = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w}, \quad y_0 = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w}, \quad z_0 = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w}$$

Jika benda bersifat homogen:

a. Untuk Benda Berbentuk Garis

$$x_0 = \frac{\sum L_i x_i}{\sum L}, \quad y_0 = \frac{\sum L_i y_i}{\sum L}, \quad z_0 = \frac{\sum L_i z_i}{\sum L}$$

b. Untuk Benda Berbentuk Bidang

$$x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A}, \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A}, \quad z_0 = \frac{\sum A_i z_i}{\sum A}$$

c. Untuk Benda Berbentuk Ruang

$$x_0 = \frac{\sum V_i x_i}{\sum V}, \quad y_0 = \frac{\sum V_i y_i}{\sum V}, \quad z_0 = \frac{\sum V_i z_i}{\sum V}$$

Dengan:

L = panjang benda (m)

A = luas benda (m^2)

V = volume benda (m^3)

Pusat Massa (Titik Massa)

Titik massa adalah titik imajiner tempat terkonsentrasi seluruh massa benda. Titik ini tidak dipengaruhi gravitasi, dan bisa berimpit dengan titik berat jika gravitasi tidak konstan.

Untuk benda dengan percepatan gravitasi konstan:

$$x_0 = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m}, \quad y_0 = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m}$$

Dengan:

x_0, y_0 = koordinat pusat massa terhadap sumbu X dan Y

m = massa benda (kg)



5. Kesetimbangan Benda Tegar

Kesetimbangan Partikel

Dalam mekanika, benda dapat dianggap sebagai partikel, yaitu titik materi yang hanya memiliki massa tanpa bentuk dan ukuran. Ketika gaya bekerja pada partikel, hanya akan muncul gerak translasi. Untuk partikel berada dalam keadaan seimbang, resultan semua gaya yang bekerja padanya harus bernilai nol.

Kondisi tersebut disebut kesetimbangan statik. Persyaratan untuk mencapai kesetimbangan partikel adalah:

$$\sum \vec{F} = 0$$

Jika partikel berada di bidang dua dimensi (sumbu X dan Y):

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

Kesetimbangan Benda Tegar

Benda tegar tidak hanya mengalami translasi, tetapi juga rotasi. Oleh karena itu, agar benda tegar dalam keadaan seimbang, maka tidak hanya resultan gaya yang harus nol, tetapi juga resultan momen gaya harus nol. Kondisi ini dikenal sebagai kesetimbangan statik benda tegar. Syarat kesetimbangan benda tegar adalah sebagai berikut:

a. Jumlah seluruh gaya yang bekerja harus nol:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

b. Jumlah seluruh momen gaya terhadap titik acuan tertentu juga harus nol:

$$\sum \tau = 0$$

Macam-Macam Kesetimbangan

Kesetimbangan benda dapat dibedakan menjadi dua jenis utama:

a. **Kesetimbangan Dinamik**

Kesetimbangan dinamik terjadi saat benda bergerak dalam kecepatan konstan dan lintasan lurus. Meskipun benda dalam keadaan bergerak, gaya total yang bekerja padanya adalah nol.

b. **Kesetimbangan Statik**

Kesetimbangan statik terjadi ketika benda tidak mengalami gerakan. Benda bisa diam karena gaya dan momen gaya yang bekerja saling meniadakan. Terdapat tiga macam kesetimbangan statik:

1) Kesetimbangan Stabil

Benda yang berada dalam kesetimbangan stabil akan kembali ke posisi semula setelah diberikan gaya kecil. Hal ini terjadi karena setelah benda digeser, gaya berat w dan gaya normal N



Contoh permainan gasing dengan prinsip kesetimbangan – id.wikipedia.org

membentuk kopel yang mengembalikan benda ke posisi awal. Contohnya adalah kerucut terbalik. Saat didorong sedikit, titik beratnya naik dan kembali ke posisi awal saat gaya dihilangkan.

2) Kesetimbangan Labil

Kesetimbangan labil terjadi jika benda berubah kedudukan setelah diberi gaya, dan tidak kembali ke posisi semula, bahkan cenderung jatuh. Ini karena kopel yang terbentuk justru memperbesar perubahan posisi. Contohnya adalah kerucut berdiri di ujung runcing. Saat diberi dorongan, titik berat turun dan kopel mempercepat kejatuhannya benda.

3) Kesetimbangan Indiferen

Pada kesetimbangan indiferen, benda tetap seimbang meskipun kedudukannya berubah akibat gaya luar. Saat gaya dihilangkan, benda tidak kembali ke posisi awal, tetapi juga tidak bergerak lebih jauh, ia membentuk posisi setimbang yang baru. Contohnya adalah bola di atas lantai datar. Saat bola digeser, posisi gaya berat dan gaya normal tetap sejajar sehingga tidak terbentuk kopel, dan bola tetap dalam keadaan setimbang pada posisinya.

Contoh Soal

Sebuah papan homogen bermassa 20 kg dan panjang 4 m diletakkan mendatar dan ditopang oleh dua penyangga di ujung-ujungnya (titik A dan B). Seorang anak bermassa 40 kg berdiri pada jarak 1 m dari titik A. Tentukan besar gaya normal yang diberikan oleh penyangga di titik A dan titik B! (Gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$)

Pembahasan:

Berat papan $w_p = 20 \times 10 = 200 \text{ N}$ bekerja di tengah papan (pada $x = 2 \text{ m}$)

Berat anak $w_a = 40 \times 10 = 400 \text{ N}$ pada $x = 1 \text{ m}$

Gaya normal N_A dan N_B di titik A dan B

Gunakan syarat kesetimbangan:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_A + N_B - w_p - w_a = 0$$

$$N_A + N_B = 200 + 400 = 600 \text{ N} \quad (\text{Persamaan 1})$$

Ambil momen terhadap titik A untuk menghilangkan N_A :

$$\sum \tau_A = 0 \Rightarrow -w_a \cdot 1 - w_p \cdot 2 + N_B \cdot 4 = 0$$

$$-400 \cdot 1 - 200 \cdot 2 + 4N_B = 0$$

$$-400 - 400 + 4N_B = 0 \Rightarrow 4N_B = 800 \Rightarrow N_B = 200 \text{ N}$$

Langkah 4: Substitusi ke Persamaan 1:

$$N_A + 200 = 600 \Rightarrow N_A = 400 \text{ N}$$

Maka $N_A = 400 \text{ N}$, $N_B = 200 \text{ N}$

Rangkuman

1) Momen Gaya dan Momen Inersia

Momen gaya adalah ukuran seberapa besar pengaruh gaya yang bekerja di luar pusat massa untuk menyebabkan benda berotasi. Momen gaya muncul jika garis kerja gaya tidak melalui sumbu rotasi, dan dapat dihitung melalui perkalian silang antara lengan gaya dan gaya itu sendiri. Momen gaya dinyatakan dengan rumus:

$$\tau = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\tau = rF \sin \theta$$

$$\tau = \sum (\vec{r} \times \vec{F}) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 +$$

Sementara itu, momen inersia menyatakan kelembaman benda dalam gerak rotasi, yang nilainya tergantung pada massa benda dan distribusinya terhadap sumbu putar. Untuk satu partikel, momen inersia dirumuskan:

$$I = mr^2$$

Untuk benda tegar, digunakan bentuk integral:

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

2) Momentum Sudut dan Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Momentum sudut adalah besaran yang menunjukkan kuantitas gerak rotasi suatu benda dan merupakan analogi dari momentum linear pada gerak translasi. Momentum sudut dapat dihitung dari hasil silang antara posisi dan momentum linear:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

Karena $\vec{p} = m\vec{v}$ dan $v = r$, maka diperoleh:

$$L = I\omega$$

Perubahan momentum sudut sebanding dengan momen gaya yang bekerja, sehingga:

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Jika tidak ada momen gaya luar yang bekerja, maka momentum sudut sistem tetap:

$$L_1 = L_2 \Rightarrow I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

3) Gerak Menggelinding dan Energi Kinetik Benda Tegar

Gerak menggelinding terjadi ketika benda mengalami translasi dan rotasi secara bersamaan di atas permukaan kasar. Roda yang mengalami gaya tarik F dan gesekan f akan mengalami percepatan translasi dan sudut yang berkaitan. Untuk translasi berlaku:

$$F - f = ma$$

Untuk rotasi berlaku:

$$\tau = fr, \quad I\alpha = fr, \quad \alpha = \frac{a}{r}$$

Total energi kinetik benda tegar yang menggelinding merupakan gabungan dari energi kinetik translasi dan rotasi:

$$E_{k, total} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Pada alat jatuh Atwood, perbedaan tegangan tali menyebabkan katrol berotasi dan percepatan sistem ditentukan dengan:

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2 + \frac{I}{r^2}}$$

4) Titik Berat dan Titik Massa

Titik berat adalah titik tangkap resultan semua gaya berat benda, dan dapat dihitung berdasarkan distribusi berat. Jika diketahui koordinat dan berat tiap bagian, maka titik berat dalam ruang tiga dimensi dapat dihitung dengan:

$$x_0 = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w}, \quad y_0 = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w}, \quad z_0 = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w}$$

Untuk benda homogen, titik berat dapat dihitung dari panjang, luas, atau volume tergantung bentuk benda. Titik massa (pusat massa) merupakan titik kumpul seluruh massa benda dan tidak selalu berimpit dengan titik berat, terutama jika percepatan gravitasi tidak konstan. Pusat massa dihitung dengan rumus:

$$x_0 = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m}, \quad y_0 = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m}$$

5) Kesetimbangan Benda Tegar

Kesetimbangan partikel terjadi jika resultan gaya yang bekerja adalah nol, yang dituliskan sebagai:

$$\sum F = 0$$

Untuk sistem dua dimensi, berlaku:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

Pada kesetimbangan benda tegar, tidak hanya gaya yang harus nol, tetapi juga momen gaya:

$$\sum \tau = 0$$

Kesetimbangan statik dapat dibedakan menjadi tiga: (1) stabil, saat benda kembali ke posisi awal setelah terganggu; (2) labil, saat benda jatuh dari posisi awal setelah terganggu; (3) indiferen, saat benda tetap dalam posisi baru tanpa cenderung kembali atau jatuh. Contoh kesetimbangan ini dijelaskan melalui hubungan antara titik berat dan gaya normal.

Latihan Soal

1. Piringan bermassa 250 g dengan jari-jari 10 cm berputar pada sumbunya melalui pusat piringan dengan kecepatan sudut 5 rad/s. Jika di atas piringan kemudian diletakkan piringan lain bermassa 100 g dengan jari-jari 5 cm, besar kecepatan sudutnya adalah
 - A. 2,5 rad/s
 - B. 4,5 rad/s
 - C. 6,5 rad/s
 - D. 8,5 rad/s
 - E. 10,5 rad/s
2. Jarak sumbu kedua roda depan terhadap sumbu roda belakang mobil yang bermassa 1,5 ton adalah 3 meter. Jika pusat massa mobil terletak 2 meter di belakang roda muka, beban yang dipikul oleh kedua roda depan mobil tersebut adalah
 - A. 5.000 N
 - B. 5.500 N
 - C. 6.000 N
 - D. 6.500 N
 - E. 7.000 N
3. Sebuah silinder pejal bermassa 5 kg dan berjari-jari 10 cm menggelinding di atas bidang datar karena dipengaruhi gaya mendatar sebesar 30 N selama 9 sekon. Hitung besar energi kinetik total silinder setelah 9 sekon!
 - A. 4.610 J
 - B. 4.735 J
 - C. 4.860 J
 - D. 4.985 J
 - E. 5.110 J
4. Sebuah katrol pejal bermassa 4 kg dan berjari-jari 10 cm digantungkan dua benda pada ujung tali kiri dan kanan. Tegangan tali kiri (TA) adalah 25 N dan tegangan tali kanan (TB) adalah 30 N. Hitung massa benda A dan B secara berurutan!
 - A. 1,3 kg dan 2,4 kg
 - B. 2,4 kg dan 3,3 kg
 - C. 3,3 kg dan 2,4 kg
 - D. 4,3 kg dan 2,4 kg
 - E. 5,3 kg dan 1,3 kg
5. Sebuah penari balet berputar dengan tangan direntangkan pada kecepatan sudut 2 rad/s. Ketika tangan dilipat, jari-jari rotasi berubah dari 0,6 m menjadi 0,3 m. Jika massanya tetap dan tidak ada gaya luar, berapa kecepatan sudut barunya?
 - A. 1 rad/s
 - B. 2 rad/s

- C. 4 rad/s
- D. 6 rad/s
- E. 8 rad/s
6. Sebuah benda berada dalam keadaan setimbang jika jumlah gaya dan momen gaya yang bekerja padanya
- A. Lebih besar dari nol
- B. Lebih kecil dari nol
- C. Tidak diketahui
- D. Sama dengan nol
- E. Selalu maksimum
7. Sebuah papan panjang 4 meter disangga di kedua ujungnya. Seorang anak bermassa 30 kg berdiri pada jarak 1 meter dari ujung kiri. Jika massa papan 20 kg, tentukan gaya yang bekerja pada penyangga kanan!
- A. 150 N
- B. 175 N
- C. 200 N
- D. 255 N
- E. 350 N

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!



Referensi

- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with Applications* (6th ed.). Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Kemendikbudristek. (2022). *Buku Panduan Guru dan Siswa Fisika SMA/MA Kurikulum Merdeka Kelas XI*. Pusat Perbukuan dan Kurikulum Nasional.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2013). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Cengage Learning.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2012). *University Physics with Modern Physics* (13th ed.). Pearson.



BAB 7: KONSEP FLUIDA STATIK DAN FLUIDA DINAMIK

Karakter Pelajar Pancasila

Bernalar kritis, Kreatif, dan Mandiri

- **Kata Kunci:** Tekanan Fluida, Tekanan Hidrostatik, Hukum Archimedes, Gaya Apung, Tegangan Permukaan, Viskositas, Bejana Berhubungan, Persamaan Kontinuitas, Hukum Bernoulli, Pipa Venturi, Tabung Pitot.

Tujuan Pembelajaran: Mengidentifikasi Konsep-Konsep Fluida Dinamik Modern

- 1. Memahami berbagai jenis tekanan yang terjadi dalam fluida statik maupun dinamik**
 - ▷ Menjelaskan definisi dan karakteristik tekanan dalam fluida yang diam dan yang bergerak.
 - ▷ Menyebutkan contoh nyata penerapan tekanan fluida dalam kehidupan sehari-hari.
- 2. Menelaah tekanan hidrostatik, hukum Archimedes, tegangan permukaan, serta viskositas fluida**
 - ▷ Menguraikan prinsip dasar dari masing-masing fenomena tersebut.
 - ▷ Menjelaskan hubungan antara sifat zat cair dan konsep fisika yang terlibat.
- 3. Melakukan pengamatan atau eksperimen sederhana untuk menentukan massa jenis benda dengan prinsip Archimedes dan bejana berhubungan**

- ▷ Mendesain percobaan yang relevan dengan alat dan bahan yang tersedia.
- ▷ Menganalisis hasil percobaan untuk menarik kesimpulan berdasarkan data.

4. Menganalisis pengaruh massa jenis dan volume fluida terhadap besar gaya apung

- ▷ Menyajikan perhitungan gaya apung berdasarkan hukum Archimedes.
- ▷ Menjelaskan bagaimana benda bisa terapung, tenggelam, atau melayang di dalam fluida.

5. Mengidentifikasi berbagai konsep fluida dinamik seperti debit, pipa venturi, tabung pitot, dan gaya angkat pesawat

- ▷ Menghubungkan persamaan kontinuitas dan hukum Bernoulli dalam sistem aliran fluida.
- ▷ Menjelaskan cara kerja alat-alat berdasarkan konsep fluida dinamik.

6. Menerapkan konsep fluida dinamik dalam teknologi modern

- ▷ Memberi contoh pemanfaatan fluida dinamik dalam bidang teknik, transportasi, dan kedokteran.
- ▷ Menghubungkan antara prinsip fisika dan efisiensi teknologi dalam kehidupan nyata.

F I T R I



1. Konsep Fluida Statik

Fluida statik adalah cabang fisika yang mempelajari fluida dalam keadaan diam, termasuk zat cair dan gas yang tidak mengalami perpindahan atau aliran. Dalam kondisi statik, fluida tetap berada dalam wadahnya dan hanya dikenai gaya akibat beratnya sendiri atau gaya luar. Contoh sehari-hari fluida statik meliputi air dalam gelas, minyak dalam botol, dan udara dalam ruang tertutup.

Besaran-Besaran Fisika Terkait Fluida

Setiap zat, baik itu padat, cair, maupun gas, memiliki sifat fisik seperti massa jenis, volume, berat, dan berat jenis. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing besaran.

a. Massa Jenis (ρ)

Massa jenis merupakan ukuran kerapatan suatu zat, yakni banyaknya massa yang terkandung dalam setiap satuan volume. Semakin besar massa jenis suatu zat, semakin rapat partikel-partikelnya.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dengan:

m = massa fluida (kg atau g)

V = volume fluida (m^3 atau cm^3)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3 atau g/cm^3)



Minyak dan air tidak bercampur karena massa jenis minyak lebih kecil daripada massa jenis air
– Shutterstock.com. 1576851145

Tabel massa jenis beberapa zat

No.	Nama Fluida	Massa Jenis (kg/m^3)	Jenis Zat
1	Aluminium	$2,70 \times 10^3$	Padat
2	Besi	$7,8 \times 10^3$	Padat
3	Tembaga	$8,9 \times 10^3$	Padat
4	Timah	$11,3 \times 10^3$	Padat
5	Emas	$19,3 \times 10^3$	Padat
6	Granit	$2,7 \times 10^3$	Padat
7	Kayu	$0,3 - 0,9 \times 10^3$	Padat
8	Es	$0,917 \times 10^3$	Padat
9	Air (4°C)	$1,00 \times 10^3$	Cair
10	Air laut	$1,025 \times 10^3$	Cair
11	Raksa	$13,6 \times 10^3$	Cair
12	Alkohol	$0,79 \times 10^3$	Cair
13	Bensin	$0,68 \times 10^3$	Cair

No.	Nama Fluida	Massa Jenis (kg/m ³)	Jenis Zat
14	Udara	1,29	Gas
15	Helium	0,179	Gas
16	Uap air (100°C)	0,598	Gas

b. Berat Jenis (s)

Berat jenis menunjukkan perbandingan antara berat suatu zat dengan volumenya. Berat jenis berbeda dengan massa jenis karena menyertakan pengaruh gravitasi.

$$s = \frac{w}{V}$$

Hubungan antara berat jenis dan massa jenis dirumuskan sebagai:

$$s = \rho g$$

Dengan:

w = berat fluida (N)

V = volume fluida (m³)

s = berat jenis fluida (N/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

c. Massa Jenis Campuran

Jika dua atau lebih zat cair dicampur, maka massa jenis campurannya merupakan rata-rata dari massa jenis masing-masing fluida berdasarkan volume.

$$\rho_c = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

Dengan:

ρ_1, ρ_2 = massa jenis fluida ke-1 dan ke-2 (kg/m³)

V_1, V_2 = volume fluida ke-1 dan ke-2 (m³)

ρ_c = massa jenis campuran (kg/m³)

d. Tekanan (P)

Tekanan adalah besarnya gaya yang bekerja pada suatu permukaan bidang dibagi dengan luas permukaan bidang tersebut.

$$P = \frac{F}{A}$$

Dengan:

F = gaya tekan (N)

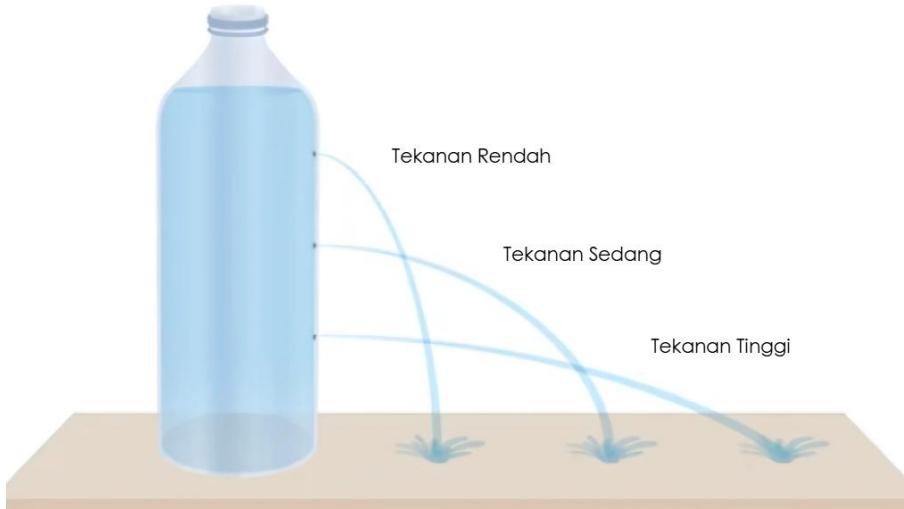
A = luas bidang tekan (m²)

P = tekanan (Pa)

Semakin kecil luas bidang dengan gaya yang sama, semakin besar tekanan yang dihasilkan.

1) Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang ditimbulkan oleh zat cair pada kedalaman tertentu akibat berat zat cair itu sendiri. Semakin dalam suatu titik berada dalam zat cair, maka semakin besar tekanan yang diterima titik tersebut.



Ilustrasi besar tekanan hidrostatik berdasarkan tinggi zat cair – Shutterstock.com.2548712877

Untuk zat cair dengan ketinggian h , massa jenis ρ , dan percepatan gravitasi g , tekanan hidrostatik dirumuskan sebagai:

$$P_h = \rho gh$$

Jika pada permukaan zat cair bekerja tekanan udara luar sebesar P_0 , maka tekanan total pada dasar bejana adalah:

$$P = P_0 + \rho gh$$

Dengan:

ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = tinggi zat cair (m)

P = tekanan total (Pa)

P_0 = tekanan udara luar (Pa)

2) Hukum Utama Hidrostatika

Hukum ini menyatakan bahwa tekanan zat cair pada kedalaman yang sama adalah sama, meskipun bentuk bejana berbeda. Peristiwa ini dikenal sebagai paradoks hidrostatik.

Gambar percobaan menunjukkan lima bejana dengan bentuk berbeda namun memiliki tinggi zat cair yang sama. Tekanan pada dasar masing-masing bejana adalah:

$$P_A = P_B = P_C = P_D = P_E = P_0 + \rho gh$$

Contoh Soal

- 1) Sebuah tangki berisi 200 liter air. Jika berat air dalam tangki tersebut adalah 2000 N, tentukan berat jenis air dalam tangki tersebut!

Pembahasan:

Diketahui:

$$w = 2000 \text{ N}$$

$$V = 200 \text{ liter} = 0,2 \text{ m}^3$$

Gunakan rumus:

$$s = \frac{w}{V}$$
$$s = \frac{2000}{0,2} = 10,000 \text{ N/m}^3$$

Maka, berat jenis air dalam tangki adalah $10,000 \text{ N/m}^3$

- 2) Sebanyak 3 m^3 cairan A dengan massa jenis $\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3$ dicampur dengan 2 m^3 cairan B yang memiliki massa jenis $\rho_2 = 800 \text{ kg/m}^3$. Hitung massa jenis campuran dari kedua cairan tersebut!

Pembahasan:

Diketahui:

$$\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3, V_1 = 3 \text{ m}^3$$

$$\rho_2 = 800 \text{ kg/m}^3, V_2 = 2 \text{ m}^3$$

Gunakan rumus:

$$\rho_c = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}$$
$$\rho_c = \frac{(1000)(3) + (800)(2)}{3 + 2} = \frac{3000 + 1600}{5} = \frac{4600}{5} = 920 \text{ kg/m}^3$$

Maka, massa jenis campuran adalah 920 kg/m^3

Penerapan Hukum Hidrostatika

a. Pipa U

Pipa U digunakan untuk menentukan massa jenis suatu zat cair dengan membandingkannya dengan zat cair lain yang sudah diketahui massa jenisnya. Ketika dua jenis zat cair yang tidak saling tercampur dimasukkan ke dalam pipa U, tekanan pada titik di dasar yang sama akan setara:

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$$

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

Dengan:

ρ_1, ρ_2 = massa jenis masing-masing zat cair

h_1, h_2 = tinggi kolom zat cair

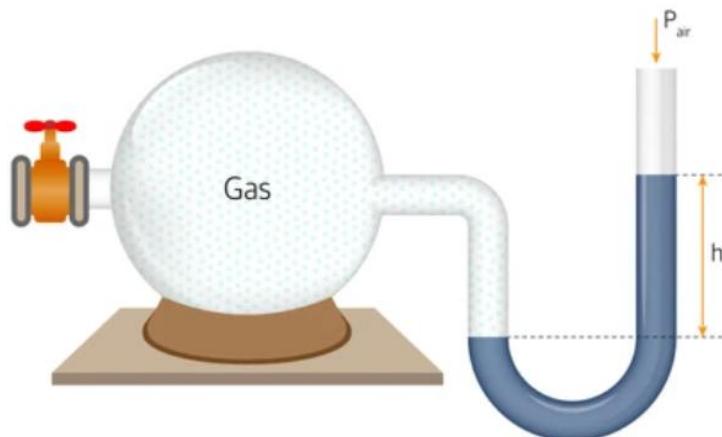
b. Manometer

Manometer adalah alat untuk mengukur tekanan gas. Manometer terbuka memiliki satu sisi terbuka ke atmosfer dan sisi lain terhubung dengan ruang tertutup berisi gas. Tekanan gas diukur dari selisih tinggi permukaan zat cair:

$$P = P_0 + \rho gh$$

Manometer Tertutup digunakan jika salah satu sisi ditutup secara permanen. Tekanan gas dihitung dari:

$$P = \rho gh$$



Ilustrasi percobaan manometer terbuka – Shutterstock.com.1366683980

Contoh Soal

Sebuah pipa U diisi dua zat cair yang tidak saling tercampur. Zat cair pertama adalah air dengan massa jenis $\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3$, sedangkan zat cair kedua adalah minyak. Jika tinggi kolom air adalah $h_1 = 24 \text{ cm}$ dan tinggi kolom minyak $h_2 = 30 \text{ cm}$, hitung massa jenis minyak tersebut!

Pembahasan:

Gunakan persamaan tekanan setara di dasar pipa U:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

Diketahui:

$$\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h_1 = 0,24 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,30 \text{ m}$$

Substitusikan ke rumus:

$$1000 \times 0,24 = \rho_2 \times 0,30$$

$$240 = 0,30 \rho_2$$

$$\rho_2 = \frac{240}{0,30} = 800 \text{ kg/m}^3$$

Maka, massa jenis minyak adalah 800 kg/m^3

Hukum pada Fluida Statik

a. Hukum Pascal

Hukum Pascal menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada zat cair dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah dengan besar yang sama.

Ketika sebuah piston ditekan, tekanan yang diberikan akan diteruskan secara merata ke seluruh bagian zat cair dalam bejana. Rumus hukum Pascal adalah:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Dengan:

F_1, F_2 = gaya tekan (N)

A_1, A_2 = luas permukaan penampang (m^2)

Penerapan hukum Pascal dapat ditemukan pada dongkrak hidrolik dan rem hidrolik.

b. Hukum Archimedes

Archimedes menyatakan bahwa suatu benda yang dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan oleh benda tersebut. Gaya ke atas ini disebut gaya apung. Gaya ke atas yang dialami benda dapat dihitung melalui:

$$F_A = \rho g V$$

Dengan:

F_A = gaya ke atas (N)

ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V = volume benda yang tercelup (m^3)

Jika diketahui berat benda di udara (w_u) dan berat benda dalam zat cair (w_a), maka:

$$F_A = w_u - w_a$$

Dengan:

w_u = berat benda di udara (N),

ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3),

V_b = volume benda (m^3),

w_a = berat benda dalam zat cair (N),

F_A = gaya ke atas (N),

ρ_a = massa jenis zat cair (kg/m^3),

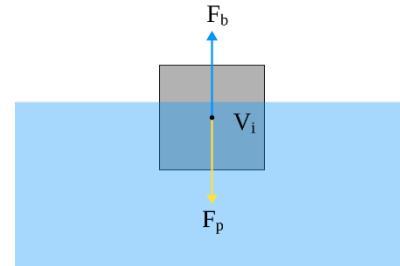
V_a = volume zat cair yang dipindahkan oleh benda (m^3)

Ketika sebuah benda dicelupkan ke dalam zat cair, akan ada tiga kemungkinan kondisi yaitu, benda tenggelam, melayang, atau terapung. Keadaan ini dipengaruhi oleh perbandingan antara berat benda dan gaya ke atas (gaya apung) dari zat cair yang dipindahkan.

- 1) Tenggelam terjadi jika berat benda lebih besar daripada gaya ke atas:

$$w > F_A$$

$$\rho_b V_b g > \rho_a V_a g$$



Ilustrasi prinsip hukum archimedes –
id.wikipedia.org

$$\frac{\rho_b V_b}{V_a} > \rho_a$$

- 2) Melayang terjadi jika berat benda sama dengan gaya ke atas:

$$w = F_A$$

$$\rho_b V_b g = \rho_a V_a g$$

$$\frac{\rho_b V_b}{V_a} = \rho_a$$

- 3) Terapung terjadi jika berat benda sama dengan gaya ke atas, namun volume zat cair yang dipindahkan lebih kecil daripada volume benda:

$$w < F_A$$

$$\rho_b V_b g < \rho_a V_a g$$

$$\frac{\rho_b V_b}{V_a} < \rho_a$$



Perbedaan posisi benda saat terapung, tenggelam, dan melayang –
Shutterstock.com. 243142261

Contoh Soal

Sebuah dongkrak hidrolik memiliki dua buah piston. Piston kecil memiliki luas penampang $A_1 = 0,005 \text{ m}^2$, sedangkan piston besar memiliki luas penampang $A_2 = 0,03 \text{ m}^2$. Jika gaya yang diberikan pada piston kecil adalah $F_1 = 150 \text{ N}$, berapa gaya yang dihasilkan pada piston besar?

Pembahasan:

Gunakan rumus hukum Pascal:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Substitusi nilai yang diketahui:

$$\frac{150}{0,005} = \frac{F_2}{0,03}$$

$$30,000 = \frac{F_2}{0,03}$$

$$\Rightarrow F_2 = 30,000 \times 0,03 = 900 \text{ N}$$

Maka, gaya yang dihasilkan pada piston besar adalah 900 N



Fakta Fisika di Sekitarmu

Tekanan air laut bisa "menghancurkan" kapal selam tanpa menyentuhnya!

Di kedalaman 1.000 meter, tekanan air bisa mencapai 100 atmosfer, atau setara dengan berdiri di bawah beban 1.000 kg per cm²! Itulah sebabnya kapal selam harus punya struktur sangat kuat agar tidak remuk hanya karena tekanan hidrostatik.



Kapal selam – Shutterstock.com.88554883

Gejala-Gejala pada Fluida Statik

a. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan adalah gaya yang bekerja oleh selaput zat cair pada permukaan yang cenderung mengecilkan luas permukaan zat cair tersebut. Tegangan permukaan inilah yang menyebabkan benda-benda ringan seperti jarum atau peniti bisa "mengambang" di atas permukaan air tanpa tenggelam.

Pada percobaan kawat berbentuk U, jika kawat ditarik vertikal dan ada selaput sabun di antara ujungnya, maka gaya tegangan permukaan dapat dihitung:

$$\gamma = \frac{F}{L} = \frac{w_1 + w_2}{L}$$

Dengan:

F = gaya oleh tegangan permukaan (N)

L = panjang permukaan zat cair (m)

γ = tegangan permukaan (N/m)

1) Teori Partikel

Gaya tarik antarmolekul zat cair menghasilkan tegangan permukaan. Tarik-menarik antara partikel sejenis disebut gaya kohesi, sedangkan tarik-menarik antara partikel zat cair dan partikel lain disebut gaya adhesi. Jika kohesi lebih kuat dari adhesi, permukaan cenderung membulat (seperti air raksa), dan sebaliknya.

2) Bentuk Permukaan Zat Cair dan Sudut Kontak

Permukaan zat cair yang bersentuhan dengan dinding wadah akan membentuk sudut. Jika zat cair membasahi dinding, maka sudutnya lancip ($\theta < 90^\circ$); jika tidak membasahi, sudutnya tumpul ($\theta > 90^\circ$).

b. Gejala Kapilaritas

Kapilaritas adalah naik atau turunnya permukaan zat cair dalam pipa kecil (pipa kapiler) karena pengaruh tegangan permukaan, kohesi, dan adhesi. Naik turunnya zat cair dalam pipa kapiler dirumuskan:

$$y = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho gr}$$

Dengan:

y = tinggi naik/turunnya zat cair (m)

γ = tegangan permukaan (N/m)

θ = sudut kontak

ρ = massa jenis zat cair (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

r = jari-jari pipa kapiler (m)

c. Viskositas dan Hukum Stokes

Viskositas menunjukkan tingkat kekentalan fluida. Semakin besar viskositas, semakin besar hambatan terhadap gerak benda di dalamnya.

1) Hukum Stokes

Jika bola kecil bergerak dalam fluida kental dengan kecepatan v , maka gaya gesekan oleh fluida dinyatakan:

$$F_s = k\eta v \quad \text{atau} \quad F_s = 6\pi r\eta v$$

Dengan:

F_s = gaya gesekan Stokes (N)

r = jari-jari bola (m)

η = koefisien viskositas (Pa s)

v = kecepatan bola (m/s)

2) Kecepatan Terminal

Ketika bola dijatuhkan dalam fluida, ia akan mengalami tiga gaya yaitu, gaya berat, gaya apung, dan gaya Stokes. Jika ketiga gaya ini seimbang, maka bola mencapai kecepatan terminal (v_T):

$$F_s = w - F_A$$
$$6\pi r\eta v_T = \rho_b V_b g - \rho_a V_b g$$
$$v_T = \frac{g V_b (\rho_b - \rho_a)}{6\pi r \eta}$$

Dengan

F_s = gaya gesekan Stokes (N)

F_A = gaya Archimedes (N)

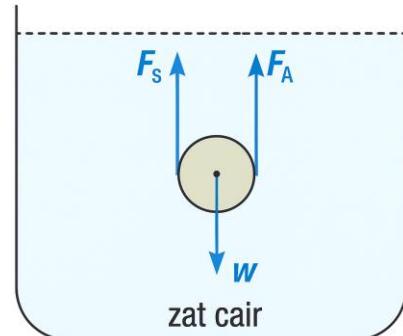
w = berat benda (N)

V_b = volume benda (m³)

ρ_b = massa jenis benda (kg/m³)

ρ_a = massa jenis fluida (kg/m³)

η = koefisien viskositas (Pa s)



Interaksi gaya Stokes dan gaya Archimedes pada benda dalam bejana

r = jari-jari bola (m)

v_T = kecepatan terminal (m/s)

Untuk bola, $V_b = \frac{4}{3}\pi r^3$, sehingga:

$$v_T = \frac{2gr^2(\rho_b - \rho_a)}{9\eta}$$

Kegiatan Kelompok 1

Menelusuri Rahasia Permukaan: Eksperimen Tegangan, Kapilaritas, dan Viskositas

Tujuan: Mengamati, menganalisis, dan menyimpulkan fenomena tegangan permukaan, kapilaritas, dan viskositas melalui eksperimen sederhana serta mengaitkannya dengan konsep fisika dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Langkah-Langkah:

- 1) Bentuk kelompok terdiri dari 3–5 siswa.
- 2) Pilih satu dari tiga topik eksperimen berikut ini:
 - a. Eksperimen Tegangan Permukaan: Amati bagaimana jarum atau klip kertas dapat "mengambang" di atas air, kemudian teteskan sabun cair dan amati perubahan yang terjadi.
 - b. Eksperimen Kapilaritas: Siapkan air berwarna dan kertas tisu, atau gunakan batang gelas kapiler untuk mengamati kenaikan permukaan zat cair.
 - c. Eksperimen Viskositas: Bandingkan kecepatan jatuh bola logam kecil dalam tabung berisi air dan minyak (atau sirup) untuk menentukan perbedaan viskositas.
- 3) Catat semua data pengamatan dan ukur besaran fisika yang terlibat, misalnya:
 - a. Tegangan permukaan: $\gamma = \frac{F}{L}$
 - b. Kapilaritas: $y = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho gr}$
 - c. Viskositas (Hukum Stokes): $F_s = 6\pi r\eta v$
 - d. atau kecepatan terminal: $v_T = \frac{2gr^2(\rho_b - \rho_a)}{9\eta}$
- 4) Analisis hasil percobaan dalam bentuk laporan kelompok yang mencakup:
 - a. Latar belakang teori singkat
 - b. Langkah kerja dan alat bahan
 - c. Hasil pengamatan dan perhitungan
 - d. Interpretasi hasil dan kaitannya dengan fenomena sehari-hari
 - e. Refleksi kelompok terhadap proses kerja sama dan penemuan ilmiah
- 5) Sampaikan hasil diskusi dalam bentuk presentasi atau poster ilmiah.



2. Konsep Fluida Dinamik

Persamaan Kontinuitas

Fluida dinamik adalah fluida yang mengalir, dan dalam fluida ideal, tidak terjadi kehilangan massa dan tidak ada gaya gesek pada dinding. Oleh karena itu, laju massa fluida yang masuk harus sama dengan yang keluar.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{konstan}$$

$$Q = A v$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dengan:

A = luas penampang fluida (m^2)

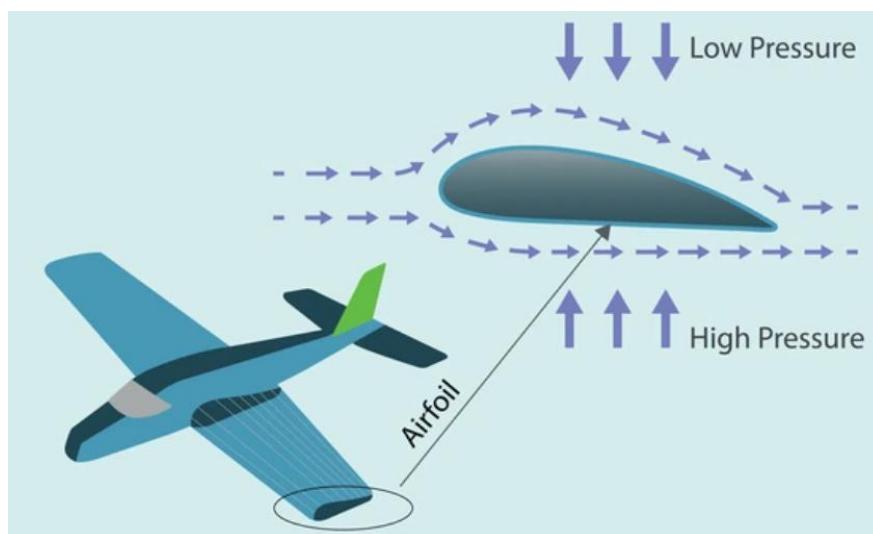
v = kecepatan aliran fluida (m/s)

Q = debit atau laju aliran fluida (m^3/s)

V = volume fluida (m^3)

t = waktu (s)

Persamaan Bernoulli



Gaya Angkat Sayap Pesawat Terbang – Shutterstock.com.1765632065

Persamaan Bernoulli merupakan hasil dari hukum kekekalan energi untuk aliran fluida. Persamaan ini menyatakan bahwa jumlah energi potensial, kinetik, dan tekanan di satu titik sama dengan titik lainnya:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Dengan:

P = tekanan fluida (Pa)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

v = kecepatan fluida (m/s)

h = tinggi dari permukaan acuan (m)

Fluida ideal dapat bergerak dari satu penampang ke penampang lain karena tiga faktor: perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian, dan perbedaan kecepatan. Kombinasi dari ketiganya menghasilkan hukum Bernoulli:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstan}$$

Dengan:

P = tekanan fluida (Pa)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

v = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = ketinggian fluida dari titik acuan (m)

Contoh Soal

Air mengalir melalui pipa horizontal dari titik A ke titik B. Tekanan di titik A adalah $P_1 = 2,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ dan kecepatannya $v_1 = 2 \text{ m/s}$. Tekanan di titik B adalah $P_2 = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. Jika massa jenis air adalah $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, dan ketinggian titik A dan B dianggap sama, tentukan kecepatan aliran air di titik B (v_2)!

Pembahasan:

Gunakan persamaan Bernoulli (karena $h_1 = h_2$, maka bagian ketinggian dapat dihilangkan

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Substitusikan nilai yang diketahui:

$$2,5 \times 10^5 + \frac{1}{2}(1000)(2^2) = 2,0 \times 10^5 + \frac{1}{2}(1000)v_2^2$$

$$2,5 \times 10^5 + 2000 = 2,0 \times 10^5 + 500v_2^2$$

$$252000 = 200000 + 500v_2^2$$

$$52000 = 500v_2^2$$

$$\Rightarrow v_2^2 = \frac{52000}{500} = 104$$

$$\Rightarrow v_2 = \sqrt{104} \approx 10,2 \text{ m/s}$$

Maka, kecepatan aliran air di titik B adalah sekitar 10,2 m/s.

Penerapan Hukum Bernoulli dan Kontinuitas

a. Kebocoran Tangki (Teorema Torricelli)

Jika sebuah tangki memiliki lubang di dindingnya, maka kecepatan keluarnya zat cair dari lubang dapat dihitung dengan:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Dengan:

$$h = h_1 - h_2$$

h_1 = tinggi permukaan air (m)

h_2 = tinggi lubang (m)

Jarak jatuh air secara horizontal dari lubang ke tanah dihitung:

$$x = 2\sqrt{(h_1 - h_2)h_2}$$

b. Gaya Angkat Sayap Pesawat

Gaya angkat pada sayap pesawat muncul karena perbedaan kecepatan udara antara bagian atas dan bawah sayap. Berdasarkan hukum Bernoulli:

$$\Delta P = \frac{1}{2}\rho(v_a^2 - v_b^2)$$

$$\Delta F = \frac{1}{2}\rho(v_a^2 - v_b^2)A$$

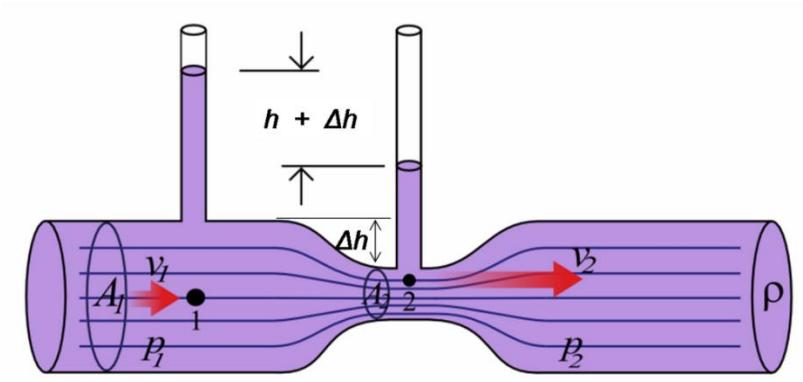
Dengan:

v_a dan v_b = kecepatan udara atas dan bawah sayap (m/s)

ΔF = gaya angkat (N)

A = luas penampang sayap (m^2)

c. Pipa Venturi



Ilustrasi efek venturi – id.Wikipedia.org

1) Pipa Venturi Terbuka

Venturimeter digunakan untuk mengukur kecepatan fluida dalam pipa. Persamaan Bernoulli dan kontinuitas menghasilkan:

$$\rho gh' = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh'}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Dengan:

h' = selisih ketinggian permukaan zat cair (m)

A_1, A_2 = luas penampang besar dan kecil (m^2)

2) Pipa Venturi Tertutup dengan Manometer

Venturi tertutup dilengkapi manometer berisi zat cair (misalnya raksa). Selisih tekanan dihitung:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$
$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Dengan:

ρ_1 = massa jenis zat cair (kg/m^3)

ρ_2 = massa jenis raksa (kg/m^3)

h = selisih tinggi raksa (m)

d. Tabung Pitot

Tabung pitot mengukur kecepatan aliran gas/udara dalam ruang tertutup. Berdasarkan prinsip Bernoulli:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_r gh}{\rho}}$$

Dengan:

ρ_r = massa jenis raksa (kg/m^3)

ρ = massa jenis gas (kg/m^3)

h = selisih tinggi raksa pada manometer (m)

e. Alat Penyemprot

Prinsip alat penyemprot sama dengan gaya angkat pesawat. Tekanan rendah di bagian sempit pipa menyebabkan zat cair tersedot naik:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Ketika $v_1 > v_2$, maka $P_1 < P_2$, menyebabkan cairan dari tangki ikut naik dan tersemprot keluar.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Botol penyemprot parfumu menggunakan ilmu fisika!

Ketika kamu menekan atas botol semprot, udara mengalir cepat dan menciptakan tekanan rendah di dalam pipa, menyebabkan parfum tersedot naik dan menyemprot keluar. Itu bukan sulap, itu Hukum Bernoulli bekerja di tanganmu!



Penggunaan parfum –
Shutterstock.com.88554883

Rangkuman

1) Fluida Statik

Fluida statik mempelajari zat cair atau gas dalam keadaan diam, termasuk tekanan yang dihasilkan akibat berat zat cair. Konsep pentingnya mencakup massa jenis, berat jenis, tekanan, dan tekanan hidrostatik. Massa jenis didefinisikan sebagai massa per volume dengan rumus:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas:

$$P = \frac{F}{A}$$

Tekanan hidrostatik yang bekerja pada zat cair dirumuskan:

$$P = P_0 + \rho gh$$

2) Hukum-Hukum pada Fluida Statik

Hukum-hukum penting yang berlaku pada fluida diam diantaranya adalah, hukum utama hidrostatika, hukum Pascal, dan hukum Archimedes. Hukum utama hidrostatika menyatakan bahwa tekanan pada kedalaman yang sama akan selalu sama terlepas dari bentuk bejana:

$$P_A = P_B = P_C = P_D = P_E = P_0 + \rho gh$$

Hukum Pascal berbunyi bahwa tekanan yang diberikan pada zat cair dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah dengan besar yang sama, dan dirumuskan:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Sedangkan hukum Archimedes menyatakan bahwa benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan:

$$F_A = \rho g V$$

3) Gejala-Gejala pada Fluida Statik

Gejala yang dibahas meliputi tegangan permukaan, kapilaritas, dan viskositas. Tegangan permukaan disebabkan oleh gaya tarik partikel-partikel zat cair yang ingin meminimalkan permukaan:

$$\gamma = \frac{F}{L}$$

Kapilaritas menunjukkan naik atau turunnya zat cair dalam pipa kecil dan dirumuskan:

$$y = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho gr}$$

Sementara viskositas menunjukkan hambatan aliran fluida dan dihitung dengan hukum Stokes:

$$F_s = 6\pi\eta r v$$

4) Kecepatan Terminal

Kecepatan terminal terjadi ketika benda berbentuk bola jatuh dalam fluida dan mengalami keseimbangan antara gaya berat, gaya apung, dan gaya gesek fluida. Kecepatan terminal dinyatakan sebagai:

$$F_s = w - F_A$$

$$6\pi\eta r v_T = \rho_b V_b g - \rho_a V_b g$$

$$v_T = \frac{2gr^2(\rho_b - \rho_a)}{9\eta}$$

5) Fluida Dinamik

Fluida dinamik membahas aliran fluida, termasuk hukum kekekalan massa (kontinuitas) dan energi (Bernoulli). Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa laju aliran fluida konstan:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi potensial, kinetik, dan tekanan dalam aliran fluida ideal selalu konstan:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstan}$$

Aplikasi Bernoulli dijumpai pada berbagai alat seperti venturimeter dan tabung pitot.

Latihan Soal

1. Sebuah tangki air berbentuk tabung vertikal setinggi 2 meter diisi penuh dengan air yang massa jenisnya $1,000 \text{ kg/m}^3$. Hitung tekanan hidrostatis di dasar tangki tersebut!
 - A. 2.000 Pa
 - B. 5.000 Pa
 - C. 10.000 Pa
 - D. 15.000 Pa
 - E. 20.000 Pa
2. Udara mengalir melalui pipa horizontal dari penampang besar menuju penampang kecil. Jika kecepatan udara pada pipa besar adalah 4 m/s dan luas penampang besar adalah 20 cm^2 , sedangkan luas penampang kecil adalah 5 cm^2 , maka kecepatan udara pada penampang kecil adalah...
 - A. 4 m/s
 - B. 8 m/s
 - C. 12 m/s
 - D. 16 m/s
 - E. 20 m/s
3. Dua pipa yang tersambung memiliki luas penampang berbeda. Air mengalir dengan kecepatan 2 m/s melalui pipa pertama yang luasnya 10 cm^2 . Jika luas pipa kedua adalah 5 cm^2 , maka kecepatan air pada pipa kedua adalah...
 - A. 2 m/s
 - B. 3 m/s
 - C. 4 m/s
 - D. 5 m/s
 - E. 6 m/s
4. Pipa venturi memiliki luas penampang 40 cm^2 di bagian besar dan 10 cm^2 di bagian kecil. Jika beda tinggi zat cair dalam manometer adalah 8 cm dan massa jenis raksa adalah $13,6 \text{ g/cm}^3$, serta massa jenis air 1 g/cm^3 , maka kecepatan aliran pada penampang kecil adalah...
 - A. 8 m/s
 - B. 12 m/s
 - C. 16 m/s
 - D. 20 m/s
 - E. 24 m/s
5. Pada sebuah pompa hidrolik, gaya sebesar 200 N diberikan pada piston kecil yang memiliki luas penampang 5 cm^2 . Luas piston besar adalah 50 cm^2 . Berapa besar gaya yang dihasilkan piston besar?
 - A. 1.000 N
 - B. 1.500 N
 - C. 2.000 N

- D. 2.500 N
E. 3.000 N
6. Sebuah bak air setinggi 1,5 meter diisi penuh dengan minyak yang massa jenisnya $0,8 \text{ g/cm}^3$. Tentukan tekanan hidrostatis di dasar bak!
- A. 6.000 Pa
B. 10.000 Pa
C. 12.000 Pa
D. 14.000 Pa
E. 16.000 Pa
7. Sebuah benda mengapung di dalam zat cair dengan massa jenis $1,2 \text{ g/cm}^3$. Jika volume benda yang tercelup adalah 0,5 liter, berapa besar gaya Archimedes yang dialami benda?
- A. 4 N
B. 5 N
C. 6 N
D. 7 N
E. 8 N

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!



Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 7

Referensi

- Depdiknas. (2009). *Fisika: untuk SMA/MA Kelas XI*. Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with Applications* (6th ed.). Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2011). *Fundamentals of Physics* (9th ed.). Wiley.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Sutrisno, H. (2021). *Fisika SMA/MA Kelas XI (Kurikulum Merdeka)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Yunus, A., & Viovanti, A. (2017). *Fisika untuk SMA/MA Kelas XI*. Jakarta: Penerbit Grafindo Media Pratama.



BAB 8: GERAK DALAM GETARAN HARMONIK

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong, Bernalar kritis, Mandiri



- **Kata Kunci:** Amplitudo, Elastisitas, Frekuensi, Getaran, Hukum Hooke, Modulus elastisitas, Pegas, Periode, Regangan, Simpangan, Tegangan, Energi Potensial, Energi Kinetik.

Tujuan Pembelajaran: Mengaitkan Konsep Getaran dan Elastisitas Sehari-Hari

1. **Menjelaskan konsep dasar getaran harmonik sederhana**
 - ▷ Mencakup pengertian simpangan, amplitudo, frekuensi, periode, dan fase dalam getaran.
 - ▷ Membedakan masing-masing besaran dan memahami hubungan antar besaran tersebut.
2. **Menganalisis hubungan antara percepatan, gaya, dan posisi benda dalam gerak harmonik**
 - ▷ Memahami bahwa percepatan sebanding dengan simpangan dan berlawanan arah terhadap titik keseimbangan.
 - ▷ Menjelaskan gaya pemulih yang menyebabkan benda bergetar harmonik menggunakan Hukum Hooke.
3. **Menghubungkan energi kinetik, energi potensial, dan energi total pada sistem getaran**

- ▷ Mendesain percobaan yang relevan dengan alat dan bahan yang tersedia.
- ▷ Menganalisis hasil percobaan untuk menarik kesimpulan berdasarkan data.

4. Menginterpretasikan grafik hubungan simpangan, kecepatan, percepatan, dan waktu dalam gerak harmonik

- ▷ Membaca dan menganalisis grafik hasil pengamatan getaran harmonik.
- ▷ Mengolah data eksperimen untuk mendapatkan periode dan frekuensi getaran.

5. Mendeskripsikan dan mengkategorikan sifat elastisitas benda di sekitar berdasarkan pengaruh gaya

- ▷ Menjelaskan konsep elastisitas, regangan, tegangan, modulus elastisitas, dan hubungan antar konsep.
- ▷ Mengelompokkan benda di sekitar berdasarkan sifat elastisitasnya.

6. Mengaitkan konsep getaran dan elastisitas dalam kehidupan sehari-hari melalui eksperimen dan observasi

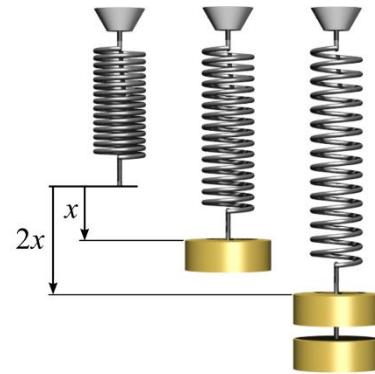
- ▷ Menjelaskan dampak elastisitas dan getaran dalam berbagai aspek kehidupan seperti kendaraan dan bangunan.
- ▷ Melakukan percobaan untuk mencari hubungan antara gaya dan pertambahan panjang pegas.

F I T R I



1. Sifat Getaran Harmonik

Getaran harmonik terjadi ketika sebuah titik materi bergerak bolak-balik secara teratur di sekitar titik keseimbangan. Jika kita membayangkan titik tersebut sebagai proyeksi dari gerak melingkar beraturan pada garis tengah lingkaran, maka lintasannya akan membentuk pola maju-mundur yang teratur. Gerak ini disebut getaran harmonik karena selalu melewati titik setimbang, yaitu titik tengah lintasan dengan gaya pemulih yang selalu bekerja menarik kembali benda ke posisi setimbang. Gaya pemulih ini akan semakin besar ketika simpangan dari titik setimbang semakin jauh, dan selalu berlawanan arah terhadap simpangan tersebut. Contoh paling sederhana dari getaran harmonik adalah gerak benda pada ujung pegas, baik yang diletakkan secara horizontal maupun vertikal.



Getaran harmonik yang memiliki gaya sebanding dengan perpanjangan pegas – en.wikipedia.org

Getaran pada Pegas

Jika sebuah pegas dikaitkan dengan benda bermassa m , lalu benda ditarik menjauhi posisi setimbang dan dilepaskan, maka benda akan bergetar bolak-balik akibat gaya pemulih dari pegas. Secara matematis, gaya pemulih tersebut dirumuskan:

$$F = -kx$$

Dengan:

k = konstanta pegas (N/m)

x = simpangan dari titik setimbang (m)

F = gaya pemulih (N)

Tanda negatif menunjukkan arah gaya berlawanan dengan arah simpangan. Ketika gaya luar tidak bekerja lagi, benda akan bergerak periodik di sekitar titik seimbang karena pengaruh gaya pemulih ini. Inilah yang dinamakan getaran harmonik.

Besaran-Besaran dalam Getaran Harmonik

Beberapa besaran yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik gerak harmonik:

a. Periode (T)

Waktu yang dibutuhkan untuk satu kali getaran penuh.

$$T = \frac{t}{n}$$

Dengan:

t = total waktu (s)

n = jumlah getaran

b. Frekuensi (f)

Jumlah getaran yang terjadi setiap detik.

$$f = \frac{n}{t}$$

c. **Hubungan antara periode dan frekuensi**

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{dan} \quad f = \frac{1}{T}$$

d. **Simpangan (x)**

Jarak antara posisi benda terhadap titik setimbang.

e. **Amplitudo (A)**

Simpangan maksimum dari titik setimbang.

f. **Sudut fase (θ)**

Menyatakan sudut dari posisi getaran pada waktu tertentu:

$$\theta = \omega t$$

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

Jika diketahui sudut awal θ_0 , maka:

$$\theta = \omega t + \theta_0$$

Contoh Soal

Sebuah pegas berkonstanta $k = 200 \text{ N/m}$ ditarik sejauh $x = 0,1 \text{ m}$ dari posisi setimbangnya. Hitung besar gaya pemulih yang bekerja pada benda!

Pembahasan:

Gunakan rumus gaya pemulih:

$$F = -kx$$

$$F = -(200)(0,1) = -20 \text{ N}$$

Tanda negatif menunjukkan arah gaya berlawanan dengan arah simpangan. Jadi, besar gaya pemulihnya adalah 20 N.



2. Model Getaran Harmonik

Persamaan Simpangan Getaran Harmonik

Gerak harmonik dapat dimodelkan sebagai proyeksi gerak melingkar beraturan. Proyeksi simpangan y dari titik partikel yang berputar dengan jari-jari A , dinyatakan:

$$y = A \sin \theta \quad \text{atau} \quad y = A \sin \omega t$$

Karena $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$, maka:

$$y = A \sin \frac{2\pi t}{T} = A \sin 2\pi f t$$

Untuk fase getaran:

$$\varphi = \frac{t}{T}$$

Persamaan Kecepatan Getaran Harmonik

Kecepatan merupakan turunan dari simpangan terhadap waktu. Jika partikel bergerak dari simpangan maksimum menuju titik setimbang, kecepatannya meningkat. Persamaan kecepatan:

$$v_y = \omega A \cos \omega t$$

atau

$$v_y = \frac{2\pi}{T} A \cos \frac{2\pi t}{T}$$

Kecepatan maksimum dicapai saat $\cos \omega t = 1$:

$$v_{\text{maks}} = \omega A = \frac{2\pi}{T} A$$

Hubungan kecepatan terhadap simpangan:

$$v_y = \omega \sqrt{A^2 - y^2}$$



Fakta Fisika di Sekitarmu

Gerak Melingkar Tapi Tak Melingkar?!

Model getaran harmonik adalah proyeksi dari gerak melingkar beraturan. Artinya, jika kamu melihat sebuah benda berputar dari samping, kamu akan melihatnya naik turun seperti getaran sinus. Jadi, getaran harmonik itu sebenarnya "gerak putar dari sudut pandang berbeda!".



Gasing berputar – Wikimedia.org

Persamaan Percepatan Getaran Harmonik

Percepatan merupakan turunan dari kecepatan terhadap waktu. Arah percepatan selalu berlawanan dengan arah simpangan, karena berasal dari gaya pemulih. Rumus percepatan:

$$a_y = -\omega^2 A \sin \omega t$$

Karena $y = A \sin \omega t$, maka juga dapat ditulis:

$$a_y = -\omega^2 y$$

Percepatan maksimum terjadi saat $y = A$:

$$a_{\text{maks}} = \omega^2 A$$

Contoh Soal

Diketahui simpangan suatu getaran harmonik mengikuti persamaan $y = 0,05 \sin(10\pi t)$. Tentukan kecepatan maksimum partikel!

Pembahasan:

Gunakan rumus kecepatan maksimum:

$$v_{\text{maks}} = \omega A$$

Diketahui:

$$\omega = 10\pi \text{ rad/s}, \quad A = 0,05 \text{ m}$$

$$v_{\text{maks}} = 10\pi \times 0,05 = 0,5\pi \approx 1,57 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan maksimum partikel adalah 1,57 m/s.



3. Prinsip Kekekalan Energi Mekanik pada Getaran Harmonik

Dalam sistem getaran harmonik, energi mekanik merupakan jumlah dari energi potensial pegas dan energi kinetik benda. Energi ini bersifat tetap jika tidak ada gaya luar yang bekerja.

Konsep Getaran Harmonik pada Pegas

a. Gaya pemulih

$$F = -ky$$

Berdasarkan Hukum Newton $F = ma$, dengan $a = -\omega^2 y$, maka:

$$k = m\omega^2$$

Jika $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka:

$$k = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = 4\pi^2 \frac{m}{T^2}$$

atau

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$$

b. Energi Potensial Pegas

$$EP = \frac{1}{2} ky^2 = \frac{1}{2} kA^2 \sin^2 \omega t$$

c. Energi Kinetik

$$EK = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} kA^2 \cos^2 \omega t$$

d. Energi Mekanik Total

$$EM = EP + EK = \frac{1}{2} kA^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = \frac{1}{2} kA^2$$

Energi mekanik total bersifat konstan selama getaran berlangsung.

1) Di titik maksimum:

$$y = A, v = 0$$

Maka $EP = \frac{1}{2} kA^2, EK = 0, EM = EP$

2) Di titik setimbang:

$$y = 0, v = \omega A$$

Maka $EK = \frac{1}{2} kA^2, EP = 0, EM = EK$

3) Di titik lain:

$$EM = EP + EK$$

Konsep Getaran Harmonik pada Bandul (Ayunan Sederhana)

Ayunan sederhana merupakan contoh nyata dari gerak harmonik. Ketika sebuah bandul digantung dengan tali sepanjang l , lalu ditarik menyamping hingga membentuk sudut θ dari posisi setimbang sejauh simpangan x , maka bandul tersebut akan mengalami gerak bolak-balik jika dilepaskan. Gerakan ini berlangsung di sekitar titik kesetimbangan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar ayunan. Gaya pemulih yang bekerja pada bandul saat berada pada posisi menyimpang dapat dirumuskan sebagai:

$$F = -\omega \sin \theta$$

Dengan menerapkan hukum Newton II, kita memperoleh:

$$F = ma$$

$$ma = -mg \sin \theta$$

$$m(\omega^2 x) = -mg \frac{x}{l}$$

$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

Periode ayunan bandul dapat dinyatakan dengan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Frekuensi bandul adalah:

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

Dengan:

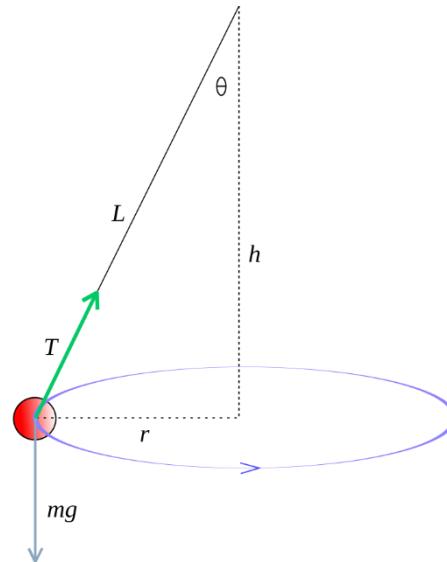
l : panjang tali (m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

T : periode ayunan (s)

f : frekuensi ayunan (Hz)

Periode dan frekuensi gerak bandul ini bergantung pada panjang tali dan percepatan gravitasi, bukan pada massa bandul. Dalam satu periode, bandul bergerak dari titik A ke B dan kembali ke A.



Ilustrasi ayunan bandul – id.wikipedia.org

Contoh Soal

Sebuah benda bermassa 0,2 kg bergetar pada ujung pegas dengan konstanta $k = 80 \text{ N/m}$ dan amplitudo 0,1 m. Hitung energi mekanik total sistem!

Pembahasan:

Gunakan rumus energi mekanik total: $EM = \frac{1}{2}kA^2$

$$EM = \frac{1}{2} \times 80 \times (0,1)^2 = 0,5 \times 80 \times 0,01 = 0,4 \text{ J}$$

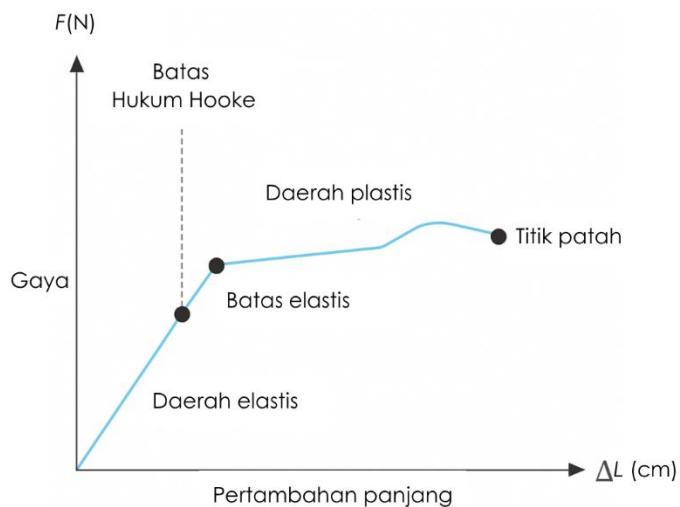
Jadi, energi mekanik total sistem adalah 0,4 joule.



4. Konsep Elastisitas

Definisi Elastisitas

Elastisitas adalah sifat suatu benda padat seperti pegas atau tali karet untuk kembali ke bentuk semula setelah ditarik atau ditekan. Jika benda dapat kembali ke bentuk semula setelah gaya dihentikan, benda tersebut bersifat elastis. Contoh benda elastis adalah karet gelang, tali katapel, dan pegas. Namun, setiap benda memiliki batas elastisitas. Jika gaya yang diberikan melebihi batas ini, benda tidak dapat kembali ke bentuk awal dan bisa putus dan dikatakan bersifat plastis.



Grafik elastisitas hubungan gaya dengan pertambahan panjang – Ilustrasi Penerbit

Ilustrasi hubungan antara gaya dan pertambahan panjang ditampilkan dalam grafik elastisitas:

- Daerah elastis:** benda masih bisa kembali ke bentuk semula.
- Batas elastis:** titik maksimum elastisitas.
- Daerah plastis:** benda mulai berubah bentuk permanen.
- Titik patah:** benda putus.

Prinsip Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas

Ketika benda elastis (seperti pegas) ditarik dengan gaya F , panjangnya bertambah sebesar ΔL . Maka berlaku hukum Hooke dalam bentuk:

$$F = k \Delta L$$

Dengan:

F : gaya tarik (N)

ΔL : pertambahan panjang (m)

k : konstanta gaya bahan (N/m)

a. Tegangan

Tegangan atau stress adalah gaya per satuan luas penampang:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

b. Regangan

Regangan atau strain adalah perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

c. Modulus

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Dengan substitusi, diperoleh:

$$E = \frac{FL_0}{A\Delta L}$$

Modulus Elastisitas dan Konstanta Elastisitas

Hubungan antara modulus elastisitas dengan konstanta gaya bahan dapat dirumuskan sebagai:

$$E = \frac{F}{\Delta L} \cdot \frac{L_0}{A}$$

$$k = \frac{EA}{L_0}$$

Contoh Soal

Sebuah kawat baja memiliki panjang awal 2 m dan luas penampang $0,5 \text{ cm}^2$. Ketika ditarik dengan gaya 100 N, kawat bertambah panjang 1 mm. Hitung modulus elastisitas kawat tersebut!

Pembahasan:

Gunakan rumus modulus elastisitas:

$$E = \frac{FL_0}{A\Delta L}$$

Konversi satuan:

$$A = 0,5 \text{ cm}^2 = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^2,$$

$$\Delta L = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$E = \frac{100 \times 2}{5 \times 10^{-6} \times 0,001} = \frac{200}{5 \times 10^{-9}} = 4 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

Jadi, modulus elastisitasnya adalah $4 \times 10^{10} \text{ Pa}$.



5. Hukum Hooke (Gaya Pegas)

Ketika sebuah pegas direntangkan secara horizontal, panjang awalnya berada pada posisi x_1 . Saat pegas ditarik dengan gaya luar F , selama gaya tersebut masih berada dalam batas elastisitas pegas, panjang pegas akan bertambah menjadi x_2 . Pertambahan panjang pegas ini dinyatakan sebagai:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

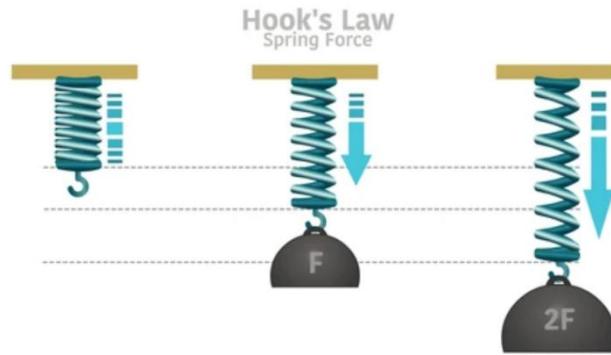
Hal ini terlihat seperti pada gambar di samping.

Pada gambar, pegas ditarik ke kanan dengan gaya F , menyebabkan panjangnya bertambah dari x_1 menjadi x_2 , dan selisih keduanya disebut Δx .

Semakin besar gaya F yang diberikan, maka semakin besar pula pertambahan panjang pegas. Fenomena ini pertama kali diamati oleh Robert Hooke, dan kini dikenal sebagai Hukum Hooke.

Bunyi Hukum Hooke:

Besar gaya tekan atau gaya tarik yang diberikan pada pegas berbanding lurus dengan pertambahan panjang pegas.



Ilustrasi Hukum Hooke – Shutterstock.com. 2514528647

Besar gaya tekan atau gaya tarik yang diberikan pada pegas berbanding lurus dengan pertambahan panjang pegas.

Persamaan Hukum Hooke

Hukum Hooke dapat dirumuskan secara matematis sebagai:

$$F = k \Delta x$$

Dengan:

k = konstanta pegas (N/m), menunjukkan tingkat kekakuan pegas

Δx = pertambahan panjang pegas (m)

F = gaya tarik atau gaya tekan yang bekerja pada pegas (N)

Jika suatu gaya F menarik atau menekan pegas, maka pegas akan memberikan gaya reaksi sebesar F juga, namun arahnya berlawanan. Gaya ini disebut sebagai gaya pemulih yang berusaha mengembalikan pegas ke panjang asalnya.

Sifat Gaya Pegas

Berikut beberapa sifat penting dari gaya pegas:

- Gaya pegas akan semakin besar jika pertambahan panjang pegas (Δx) semakin besar. Artinya, makin besar tarikan, makin besar pula reaksi dari pegas.
- Arah gaya pegas selalu berlawanan dengan arah gaya luar yang diberikan. Jadi, jika pegas ditarik ke kanan, gaya pegas bekerja ke kiri dan sebaliknya.

Jika gaya luar F menyebabkan pegas memanjang sebesar Δx , maka pegas memberikan gaya reaksi dalam arah berlawanan. Oleh karena itu, persamaan gaya reaksi pegas dapat dituliskan sebagai:

$$F = -k \Delta x$$

Tanda negatif $(-)$ pada persamaan menunjukkan bahwa arah gaya pegas selalu berlawanan dengan arah perubahan panjang pegas. Ini sesuai dengan prinsip aksi-reaksi.

Contoh Soal

Sebuah pegas ditarik sehingga bertambah panjang 0,08 m dan diketahui konstanta pegasnya $k = 250 \text{ N/m}$. Hitung gaya tarik yang bekerja pada pegas!

Pembahasan:

Gunakan rumus:

$$F = k \Delta x$$

$$F = 250 \times 0,08 = 20 \text{ N}$$

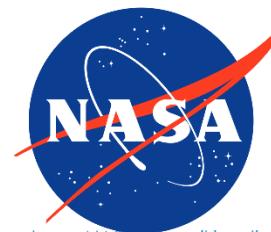
Jadi, gaya tarik pada pegas adalah 20 N.



Fakta Fisika di Sekitarmu

Kesederhanaan sensor pegas bisa jadi dasar robotik dan aerospace!

Dalam dunia rekayasa, sensor pegas digunakan untuk mengukur gaya dan tekanan, bahkan dalam roket atau wahana luar angkasa. Jadi, hukum yang ditemukan Hooke di abad ke-17 dipakai juga oleh NASA!



Lambang NASA – en.wikipedia.org



6. Jenis Susunan Pegas

Susunan Seri

Jika dua pegas disusun secara seri dan masing-masing mengalami pertambahan panjang Δx_1 dan Δx_2 , maka total pertambahan panjang:

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

Gaya yang bekerja pada kedua pegas sama:

$$F = k_1 \Delta x_1 = k_2 \Delta x_2$$

Konstanta pengganti untuk susunan seri:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

Untuk n pegas identik:

$$k_s = \frac{k}{n}$$

Susunan Paralel

Jika dua pegas disusun paralel, total gaya:

$$F = F_1 + F_2 = k_1 \Delta x + k_2 \Delta x$$

$$F = (k_1 + k_2) \Delta x$$

Konstanta pengganti untuk susunan paralel:

$$k_p = k_1 + k_2$$

Untuk n pegas identik:

$$k_p = nk$$

Contoh Soal

Dua buah pegas masing-masing memiliki konstanta $k_1 = 100 \text{ N/m}$ dan $k_2 = 200 \text{ N/m}$, disusun secara seri. Hitung konstanta pegas pengganti dari susunan tersebut!

Pembahasan:

Gunakan rumus susunan seri:

$$\begin{aligned} \frac{1}{k_s} &= \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \\ &= \frac{1}{100} + \frac{1}{200} = \frac{2+1}{200} = \frac{3}{200} \\ k_s &= \frac{200}{3} \approx 66,67 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Jadi, konstanta pegas pengganti adalah 66,67 N/m.

Kegiatan Kelompok 1

Mengukur Konstanta Pegas dengan Metode Grafik

Tujuan: Menentukan konstanta pegas (k) dengan cara membuat grafik gaya (F) terhadap pertambahan panjang (Δx).

Menurut Hukum Hooke, besar gaya yang diberikan pada pegas sebanding dengan pertambahan panjangnya, dirumuskan sebagai:

$$F = k\Delta x$$

Dengan membuat grafik F terhadap Δx , kemiringan garis lurus (gradien) mewakili nilai konstanta pegas (k).

Alat dan Bahan:

- | | | |
|--|---|-----------|
| 1) Statif | 2) Beban (dalam satuan gram) | 3) Mistar |
| 4) Pegas (minimal dua jenis bahan berbeda) | 5) Kalkulator atau alat bantu grafik (boleh Excel/manual) | |

Langkah Kegiatan:

- 1) Bentuk kelompok yang terdiri atas 3–4 orang.
- 2) Pasang pegas pada statif. Ukur panjang awal pegas (tanpa beban) dan catat sebagai x_1 .
- 3) Tambahkan beban 50 g secara bertahap hingga 100 g, lalu ukur panjang pegas setelah diberi beban (sebagai x_2) untuk tiap penambahan.
- 4) Hitung pertambahan panjang pegas $\Delta x = x_2 - x_1$ untuk tiap beban.
- 5) Hitung gaya berat (berat beban) dengan rumus $F = m \times g$, dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- 6) Buat tabel berisi massa beban, gaya (F), dan pertambahan panjang (Δx).
- 7) Gambarlah grafik F terhadap Δx , kemudian tentukan gradien garis lurus. Gradien ini adalah konstanta pegas (k).
- 8) Ulangi langkah dengan pegas jenis lain, lalu bandingkan nilai konstanta pegas masing-masing.
- 9) Diskusikan hasilnya bersama anggota kelompok: mana yang lebih elastis, dan mengapa?

Rangkuman

1) Sifat Getaran Harmonik

Getaran harmonik merupakan gerak bolak-balik yang teratur dari sebuah titik materi terhadap posisi setimbang, di mana lintasannya dapat diproyeksikan dari gerak melingkar beraturan. Gaya yang menyebabkan benda kembali ke titik setimbang disebut gaya pemulih, dengan arah selalu berlawanan terhadap arah simpangan. Gerak ini dapat dijumpai pada pegas dan bandul sederhana. Gaya pemulih dirumuskan dengan persamaan:

$$F = -kx$$

Besaran penting lainnya meliputi periode dan frekuensi, yang saling berkebalikan:

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{dan} \quad f = \frac{1}{T}$$

Sudut fase dalam gerak harmonik dirumuskan sebagai:

$$\theta = \omega t$$

2) Model Getaran Harmonik

Model getaran harmonik dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi sinus untuk simpangan terhadap waktu, karena merupakan proyeksi dari gerak melingkar beraturan. Kecepatan merupakan turunan simpangan, dan percepatan merupakan turunan kecepatan. Simpangan dinyatakan dengan:

$$y = A \sin \omega t$$

Kecepatan sesaat ditulis sebagai:

$$v_y = \omega A \cos \omega t$$

dan percepatan dinyatakan:

$$a_y = -\omega^2 y$$

3) Prinsip Kekekalan Energi Mekanik pada Getaran Harmonik

Energi mekanik dalam sistem getaran harmonik merupakan jumlah energi potensial dan energi kinetik, yang nilainya konstan jika tidak ada gaya luar. Pada pegas, gaya pemulih dirumuskan sebagai $F = -ky$, dengan hubungan $k = m\omega^2$. Energi potensial dan kinetik masing-masing dituliskan:

$$EP = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2 \omega t$$

dan

$$EK = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2 \omega t$$

Sehingga energi mekanik total selalu tetap:

$$EM = \frac{1}{2} k A^2$$

4) Konsep Elastisitas

Elastisitas adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya dihentikan. Benda elastis memiliki batas elastis dan akan menjadi plastis atau patah jika gaya melampaui batas tersebut. Pada daerah elastis, gaya sebanding dengan pertambahan panjang sesuai hukum Hooke:

$$F = k \Delta L$$

Tegangan dan regangan dirumuskan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dan

$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Modulus elastisitas (Young) adalah perbandingan tegangan terhadap regangan:

$$E = \frac{FL_0}{A\Delta L}$$

5) Hukum Hooke (Gaya Pegas)

Hukum Hooke menyatakan bahwa gaya yang diberikan pada pegas berbanding lurus dengan pertambahan panjang selama tidak melewati batas elastisitas. Pertambahan panjang ditulis:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

Rumus umum hukum Hooke adalah:

$$F = k \Delta x$$

Jika gaya reaksi pegas dituliskan, maka arahnya berlawanan terhadap gaya tarik luar:

$$F = -k \Delta x$$

6) Jenis Susunan Pegas

Dalam fisika, pegas dapat disusun secara seri maupun paralel. Pada susunan seri, pertambahan panjang total adalah jumlah dari masing-masing pegas dan gaya yang bekerja sama:

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

Dengan konstanta pengganti:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

Sementara itu, pada susunan paralel, gaya total adalah penjumlahan gaya pada masing-masing pegas dan pertambahan panjangnya sama:

$$F = (k_1 + k_2)\Delta x$$

dan

$$k_p = k_1 + k_2$$

Latihan Soal

1. Sebuah partikel mengalami gerak harmonik sederhana dengan amplitudo 25 cm. Jika partikel memiliki simpangan sebesar $12,5\sqrt{3} \text{ cm}$, maka fase getarannya terhadap titik setimbang adalah
 - $\frac{1}{2}$
 - $\frac{1}{3}$
 - $\frac{1}{4}$
 - $\frac{1}{6}$
 - $\frac{1}{8}$
2. Dua partikel melakukan gerak harmonik dengan periode 2 s dan 4 s. Jika saat $t = 0$ keduanya sefase, maka setelah $t = 2 \text{ s}$, beda fase kedua partikel adalah
 - π
 - $\frac{\pi}{2}$
 - $\frac{2\pi}{3}$
 - $\frac{\pi}{4}$
 - $\frac{\pi}{6}$
3. Pegas vertikal diberi beban 1 kg dan ditarik sejauh 5 cm dari titik setimbang. Setelah dilepas, terjadi gerak harmonik dengan frekuensi 10 Hz. Jika simpangan saat itu 3 cm, maka perbandingan energi potensial dan energi kinetik adalah
 - 9 : 16
 - 4 : 5
 - 3 : 4
 - 3 : 5
 - 9 : 7
4. Sebuah partikel bermassa m sedang bergetar harmonik dan berada di titik simpangan maksimum. Maka pada titik itu, gaya pemulih partikel tersebut
 - bernilai maksimum
 - bernilai nol
 - berkurang secara linier
 - sama dengan energi total
 - lebih kecil dari percepatan
5. Jika energi kinetik sama dengan energi potensial dalam gerak harmonik sederhana, maka simpangan partikel dari titik setimbang adalah
 - $\frac{A}{2}$
 - $\frac{A}{\sqrt{2}}$

- C. $\frac{A}{3}$
- D. $\frac{A}{\sqrt{3}}$
- E. $\frac{A}{\sqrt{6}}$
6. Sebuah partikel mengalami gerak harmonik dengan energi total $2,0 \times 10^{-5} J$. Jika simpangannya saat itu adalah $0,6A$, maka energi kinetik partikel saat itu adalah
- A. $1,28 \times 10^{-5} J$
- B. $1,52 \times 10^{-5} J$
- C. $1,92 \times 10^{-5} J$
- D. $2,00 \times 10^{-5} J$
- E. $2,16 \times 10^{-5} J$
7. Sebuah pegas memiliki konstanta $k = 200 \text{ N/m}$ dan mengalami pemampatan sejauh $0,1 \text{ m}$. Energi potensial elastis yang tersimpan dalam pegas tersebut adalah
- A. $0,5 \text{ J}$
- B. $1,0 \text{ J}$
- C. $2,0 \text{ J}$
- D. $0,25 \text{ J}$
- E. $1,5 \text{ J}$

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!

Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 8



Referensi

- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with Applications* (6th ed.). Pearson Education.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
- Kemendikbud. (2022). *FISIKA SMA/MA Kelas XI Kurikulum Merdeka*. Pusat Perbukuan Kemdikbudristek.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Cengage Learning.



BAB 9: GERAK DALAM GETARAN HARMONIK

Karakter Pelajar Pancasila

Bergotong-royong: bekerja sama dalam kelompok saat melakukan percobaan gelombang.

Bernalar kritis: menganalisis data percobaan dan menarik kesimpulan berdasarkan konsep fisika.

Mandiri: mempresentasikan hasil pemahaman dan eksperimen dengan percaya diri.

Tujuan Pembelajaran: Mengaitkan Konsep Getaran dan Elastisitas Sehari-Hari

1. Menganalisis sifat dan karakteristik dasar gelombang mekanik

- ▷ Mengidentifikasi perbedaan gelombang transversal dan longitudinal.
- ▷ Menjelaskan hubungan antara amplitudo, panjang gelombang, dan periode dengan fenomena fisik.

2. Menguraikan besaran-besaran fisis pada gelombang berjalan dan stasioner

- ▷ Menghubungkan konsep cepat rambat, frekuensi, dan panjang gelombang dengan kehidupan sehari-hari.
- ▷ Membandingkan sifat-sifat gelombang berjalan dengan gelombang stasioner.

3. Menjelaskan proses pemantulan gelombang pada berbagai kondisi ujung

- **Kata Kunci:** Gelombang mekanik, elektromagnetik, berjalan, dan stasioner, amplitudo, panjang gelombang, periode, pemantulan, resonansi, intensitas bunyi, efek Doppler, interferensi, difraksi, polarisasi, pipa organa, kacamata polarisasi.

- ▷ Mendeskripsikan pemantulan gelombang pada ujung bebas.
- ▷ Mendeskripsikan pemantulan gelombang pada ujung tetap.

4. Menentukan frekuensi dan kecepatan rambat gelombang melalui percobaan

- ▷ Menggunakan percobaan Melde untuk memperoleh data frekuensi dan cepat rambat gelombang pada dawai.
- ▷ Menarik kesimpulan hubungan antara tegangan dawai, massa per satuan panjang, dan cepat rambat gelombang.

5. Menjelaskan konsep resonansi, intensitas bunyi, taraf intensitas, dan efek Doppler

- ▷ Mendeskripsikan prinsip resonansi pada pipa organa dan dawai.
- ▷ Menjelaskan kaitan efek Doppler dengan kehidupan sehari-hari, seperti sirine ambulans.

6. Memaparkan hasil percobaan resonansi beserta makna fisiknya

- ▷ Menyajikan data hasil eksperimen resonansi dalam bentuk grafik atau tabel.
- ▷ Menghubungkan hasil percobaan dengan teori resonansi dan aplikasi praktisnya.

7. Mendeskripsikan sifat umum gelombang cahaya beserta gejalanya

- ▷ Menjelaskan interferensi dan difraksi pada cahaya.
- ▷ Menjelaskan polarisasi cahaya dan manfaatnya dalam kehidupan sehari-hari.

8. Memberikan contoh penerapan konsep gelombang dalam teknologi modern

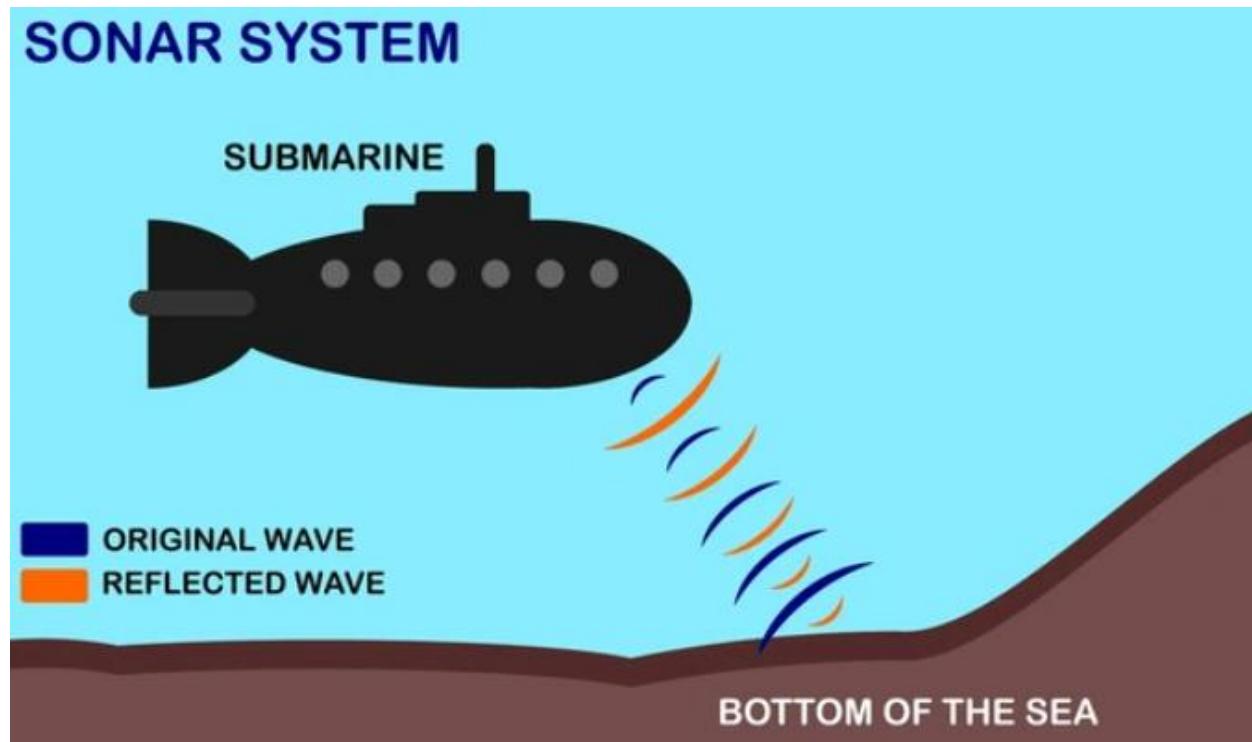
- ▷ Menjelaskan penerapan polarisasi pada kacamata, kamera, dan layar LCD.
- ▷ Mengaitkan prinsip gelombang dengan instrumen optik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

F I T R I



1. Konsep Gelombang

Gelombang merupakan suatu fenomena yang terjadi akibat adanya getaran pada medium tertentu. Ketika suatu partikel dalam medium mengalami getaran, partikel tersebut akan bergerak dari posisi semula ke posisi baru. Gerakan ini memindahkan energi tanpa partikel itu sendiri berpindah tempat.



Pengukuran Kedalaman Laut dengan Sonar (Gelombang Suara) – Shutterstock.com. 2531945271

Definisi Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik yang terjadi secara periodik, di mana partikel bergerak sekitar titik keseimbangannya.

Definisi Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat dan membawa energi. Dalam gelombang, energi berpindah melalui medium tanpa partikel-medium itu berpindah secara permanen.

Macam-macam Gelombang

Gelombang dapat dikategorikan berdasarkan beberapa faktor, antara lain jenis medium perambatannya, arah getarannya, serta berdasarkan amplitudo dan fase gelombangnya.

a. Berdasarkan Medium Perambatan

1) Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik adalah gelombang yang memerlukan medium untuk merambat. Gelombang ini tidak bisa merambat di ruang hampa. Contohnya termasuk gelombang bunyi, gelombang pada tali atau dawai, serta gelombang pada permukaan air.

2) Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium untuk merambat, sehingga dapat merambat melalui ruang hampa. Contoh gelombang elektromagnetik meliputi sinar gamma, sinar-X, sinar ultraviolet, cahaya tampak, serta gelombang radio.

b. Berdasarkan Arah Getar dan Arah Rambat

1) Gelombang Transversal

Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatannya tegak lurus terhadap arah getarnya. Contoh gelombang jenis ini adalah gelombang pada tali, gelombang pada permukaan air, dan gelombang elektromagnetik.

2) Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatannya sejajar dengan arah getarnya. Contoh gelombang longitudinal meliputi gelombang bunyi, gelombang pada pegas, dan gelombang tekanan udara.

c. Berdasarkan Amplitudo dan Fase Gelombang

1) Gelombang Berjalan

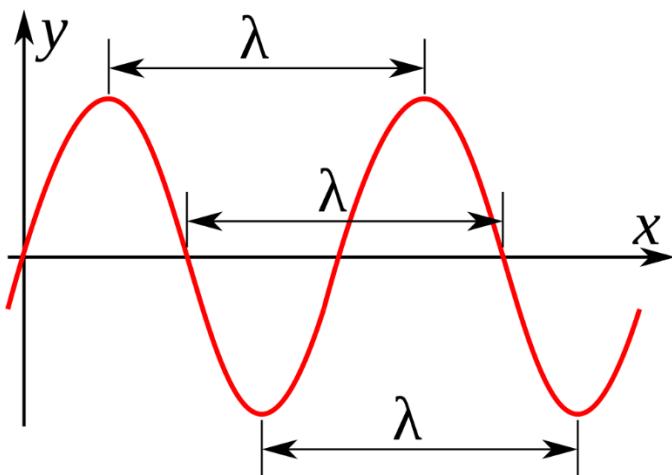
Gelombang berjalan adalah gelombang yang memiliki amplitudo yang tetap sepanjang perambatannya.

2) Gelombang Stasioner

Gelombang stasioner adalah gelombang yang memiliki amplitudo berbeda pada titik yang berbeda, namun tidak merambat, melainkan terhenti di satu titik tertentu.

Besaran dalam Gelombang

Pada gelombang, terdapat beberapa besaran penting yang perlu diperhatikan, yaitu amplitudo, panjang gelombang, periode, frekuensi, dan kecepatan rambat.



Panjang gelombang sinus λ diukur antara dua titik sefase (puncak, palung, atau simpangan nol) – id.wikipedia.org

a. Panjang Gelombang (λ)

Panjang gelombang adalah jarak antara dua titik berturut-turut yang berada pada fase yang sama. Pada gelombang transversal, panjang gelombang diukur dari satu puncak ke puncak berikutnya.

b. Amplitudo (A)

Amplitudo adalah simpangan maksimum partikel dari posisi keseimbangan pada gelombang. Amplitudo berhubungan dengan energi yang dibawa oleh gelombang.

c. Periode (T) dan Frekuensi (f)

Periode (T) adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus gelombang merambat. Frekuensi (f) adalah jumlah siklus gelombang yang terjadi per detik. Hubungan antara periode dan frekuensi adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{dan} \quad T = \frac{1}{f}$$

d. Kecepatan Gelombang (v)

Kecepatan gelombang adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu. Kecepatan gelombang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$v = f \cdot \lambda$$

di mana f adalah frekuensi gelombang (Hz) dan s adalah panjang gelombang (m).

Gelombang Berjalan

a. Formula Gelombang Berjalan

Gelombang berjalan merupakan gelombang yang merambat dengan amplitudo yang tetap sepanjang jalurnya. Persamaan umum untuk gelombang berjalan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{\lambda} \right) \right)$$

di mana:

y adalah simpangan gelombang (m)

A adalah amplitudo (m)

t adalah waktu (s)

x adalah posisi gelombang (m)

λ adalah panjang gelombang (m)

b. Perbedaan Fase Gelombang Berjalan ($\Delta\phi$)

Beda fase pada gelombang berjalan dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta\phi = \varphi_0 - \varphi_p \text{ atau } \Delta\phi = \frac{x}{\lambda}$$

dengan:

$\Delta\phi$ = beda fase (rad)

x = jarak dari sumber getaran (m)

λ = panjang gelombang (m)

c. Kecepatan dan Percepatan Gelombang Berjalan

Berdasarkan persamaan simpangan gelombang berjalan, perubahan simpangan terhadap waktu disebut kecepatan. Kecepatan gelombang dapat diturunkan dari persamaan simpangan sebagai berikut:

$$v_y = \frac{dy}{dt}$$

atau

$$v_y = \frac{d}{dt} A \sin(\omega t - kx)$$

sehingga diperoleh:

$$v_y = \omega A \cos(\omega t - kx)$$

dengan:

v_y = kecepatan gelombang (m/s)

ω = frekuensi sudut (rad/s)

A = amplitudo (m)

k = bilangan gelombang (m⁻¹)

t = waktu (s)

x = posisi (m)

d. Kecepatan Maksimum Gelombang Berjalan

Kecepatan maksimum gelombang tercapai ketika $\cos(\omega t - kx) = 1$, sehingga persamaan kecepatan maksimum gelombang menjadi:

$$v_{max} = \omega A$$

dengan:

v_{max} = kecepatan maksimum gelombang (m/s)

ω = frekuensi sudut (rad/s)

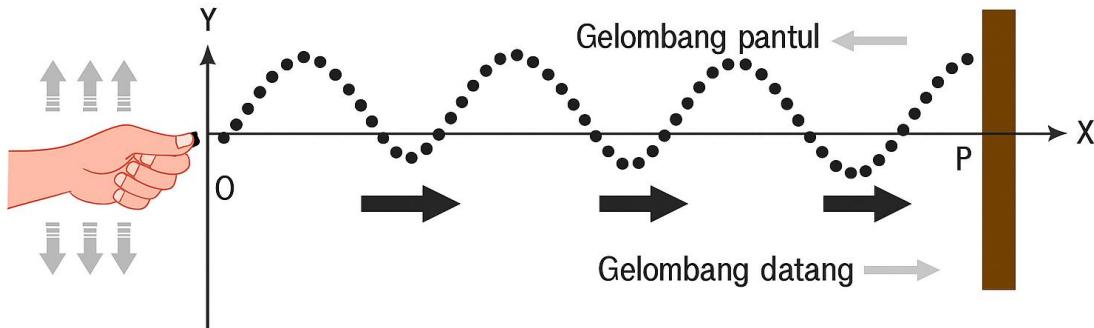
A = amplitudo (m)

Gelombang Stasioner

a. Persamaan Gelombang Stasioner

Jika sebuah tali dengan salah satu ujungnya digetarkan terus-menerus, maka pada tali akan merambat gelombang transversal ke kanan. Gelombang yang merambat ke kanan disebut gelombang datang. Ketika mencapai ujung tali, gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dan disebut gelombang pantul.

Perpaduan antara gelombang datang dan gelombang pantul menghasilkan pola baru yang dinamakan gelombang stasioner. Tidak semua titik pada gelombang stasioner memiliki simpangan yang sama. Beberapa titik bergetar dengan amplitudo maksimum yang disebut perut (P), sementara titik lain bergetar dengan amplitudo minimum (bahkan nol) yang disebut simpul (S).



Saat gelombang mencapai titik P, gelombang dipantulkan kembali ke arah titik O yang bergetar

Gelombang stasioner dapat terjadi pada dua kondisi, yaitu pemantulan dengan ujung bebas dan pemantulan dengan ujung terikat.

1) Gelombang Stasioner pada Pemantulan Ujung Bebas

Misalkan sebuah tali dengan panjang L direntangkan secara horizontal. Salah satu ujungnya bebas, sementara sebuah titik C berada pada jarak x dari ujung bebas tersebut. Gelombang datang merambat menuju ujung bebas dan kemudian dipantulkan kembali. Pada ujung bebas, fase gelombang datang sama dengan fase gelombang pantul ($\Delta\varphi = 0$), sehingga simpangan maksimum terjadi di ujung bebas.

Simpangan pada titik C dapat dihitung melalui perpaduan simpangan gelombang datang dan simpangan gelombang pantul.

- ▷ Fase gelombang datang: $\varphi_d = \frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda}$
- ▷ Persamaan simpangan gelombang datang: $y_d = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda} \right)$
- ▷ Fase gelombang pantul: $\varphi_p = \frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda}$
- ▷ Persamaan simpangan gelombang pantul: $y_p = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda} \right)$
- ▷ Persamaan simpangan perpaduan gelombang di titik C:

$$\begin{aligned}
 y_c &= y_d + y_p \\
 y_c &= A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda} \right) \\
 y_c &= 2A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right) \cos 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right)
 \end{aligned}$$

- ▷ Amplitudo gelombang pada pemantulan ujung bebas: $A_c = 2A \cos 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right)$
- ▷ Syarat Simpul dan Perut pada Pemantulan Ujung Bebas:

Syarat Simpul (S):

$$\cos 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right) = 0$$

$$x_s = (2n+1) \frac{1}{4}$$

Syarat Perut (P)

$$\cos 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right) = \pm 1$$

$$x_p = \frac{1}{2}n$$

dengan:

y_c = simpangan gelombang stasioner pada ujung bebas (m)

L = panjang tali (m)

x = jarak dari ujung bebas ke titik C (m)

T = periode gelombang (s)

λ = panjang gelombang (m)

t = lama gelombang bergetar (s)

A = amplitudo gelombang datang/pantul (m)

A_c = amplitudo pemantulan pada ujung bebas (m)

x_s = letak simpul (m)

x_p = letak perut (m)

n = bilangan bulat 0, 1, 2, 3, ...

2) Gelombang Stasioner pada Pemantulan Ujung Tetap

Misalkan tali AB dengan panjang L direntangkan secara horizontal. Ujung B diikat kuat pada batang sehingga menjadi ujung tetap. Ketika gelombang transversal datang merambat menuju ujung tetap, gelombang tersebut dipantulkan dengan fase berlawanan ($\Delta\varphi = \frac{1}{2}$), sehingga di ujung tetap terbentuk simpul (simpangan minimum).

Jika sebuah titik C berada pada jarak x dari ujung tetap, maka simpangan di titik tersebut merupakan hasil perpaduan antara gelombang datang dan pantul.

- ▷ Fase gelombang datang: $\varphi_d = \frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda}$
- ▷ Persamaan simpangan gelombang datang: $y_d = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda} \right)$
- ▷ Fase gelombang pantul: $\varphi_p = \frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda} + \frac{1}{2}$
- ▷ Persamaan simpangan gelombang pantul: $y_p = -A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda} \right)$
- ▷ Persamaan simpangan perpaduan gelombang di titik C:

$$y_c = y_d + y_p$$

$$y_c = 2A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right)$$

- ▷ Amplitudo gelombang pada pemantulan ujung tetap: $A_c = 2A \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right)$
- ▷ Syarat Simpul dan Perut pada Ujung Tetap

Syarat Simpul (S):

$$\sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right) = 0$$

$$x_s = \frac{1}{2}n$$

Syarat Perut (P)

$$\sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \right) = \pm 1$$

$$x_p = (2n + 1) \frac{1}{4} \lambda$$

dengan $n = 0, 1, 2, \dots$

b. Cepat Rambat Gelombang pada Dawai

Gelombang stasioner juga dapat dibentuk dengan percobaan Melde. Dalam percobaan ini, salah satu ujung dawai dihubungkan dengan vibrator (sumber getar), sementara ujung lainnya diberi beban melalui katrol. Saat vibrator bekerja, dawai bergetar dan terbentuk pola gelombang stasioner.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa cepat rambat gelombang pada dawai:

- 1) Berbanding lurus dengan akar tegangan dawai \sqrt{F} .
- 2) Berbanding lurus dengan akar panjang dawai \sqrt{L} .
- 3) Berbanding terbalik dengan akar massa dawai $\sqrt{\frac{F}{m_d}}$

Maka, rumus cepat rambat gelombang pada dawai adalah:

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m_d}} \quad \text{atau} \quad v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

dengan:

v = cepat rambat gelombang pada dawai (m/s)

F = tegangan tali (N)

L = panjang dawai (m)

$\mu = \frac{m_d}{L}$ = massa dawai per satuan panjang (kg/m)

Panjang gelombang pada dawai dapat ditentukan dengan:

$$\lambda = \frac{2L_{AB}}{S-1} \quad \text{atau} \quad \lambda = \frac{L_{AB}}{n}$$

dengan:

λ = panjang gelombang (m)

L_{AB} = panjang dawai (m)

S = jumlah simpul

n = banyak gelombang



Fakta Fisika di Sekitarmu

Energi Bisa Jalan-Jalan, Tapi Partikelnya Tetap di Rumah

Gelombang memindahkan energi tanpa memindahkan partikel secara permanen! Misalnya, saat ombak laut mendekati pantai, molekul air tidak ikut ke pantai, mereka cuma goyang-goyang di tempat. Jadi kalau kamu pikir air laut pindah bersama ombak, itu ilusi!



Contoh Soal

Sebuah tali panjang $L = 2\text{ m}$ direntangkan secara horizontal dengan salah satu ujungnya bebas. Gelombang datang memiliki amplitudo $A = 4\text{ cm}$ dan panjang gelombang $\lambda = 80\text{ cm}$. Tentukan:

1. Letak simpul pertama dari ujung bebas.
2. Letak perut kedua dari ujung bebas.
3. Besar amplitudo gelombang di titik yang berjarak $x = 20\text{ cm}$ dari ujung bebas.

Jawaban Benar:

1. $x_s = 20\text{ cm}$
2. $x_p = 80\text{ cm}$
3. $A_c = 5,66\text{ cm}$

Pembahasan:

1. Simpul pada ujung bebas

$$x_s = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}, \quad n = 0 \Rightarrow x_s = \frac{80}{4} = 20\text{ cm}.$$

2. Perut pada ujung bebas

$$x_p = \frac{n}{2} \lambda, \quad n = 2 \Rightarrow x_p = \frac{2}{2} \cdot 80 = 80\text{ cm}.$$

3. Amplitudo di titik x

Amplitudo gelombang stasioner (ujung bebas):

$$\begin{aligned} A_c &= 2A \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \\ &= 2(4) \cos\left(\frac{2\pi \cdot 10}{80}\right) \\ &= 8 \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \\ &= 8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 4\sqrt{2} \text{ cm} \approx 5,66 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Kegiatan Kelompok 1

Judul: Percobaan Gelombang pada Tali dan Pegas

Tujuan:

- 1) Memahami konsep dasar gelombang berjalan pada tali dan pegas.
- 2) Mengukur periode, frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang.
- 3) Membedakan gelombang transversal dan gelombang longitudinal.

Dasar Teori

Gelombang adalah getaran yang merambat dan membawa energi. Pada gelombang transversal, arah getar tegak lurus dengan arah rambat (contohnya gelombang pada tali). Sedangkan pada gelombang longitudinal, arah getar sejajar dengan arah rambat (contohnya gelombang pada pegas atau bunyi).

Besaran-besaran penting dalam gelombang:

Periode (T): waktu yang dibutuhkan untuk satu getaran penuh.

Frekuensi (f): banyaknya getaran per detik.

$$f = \frac{1}{T}$$

Panjang Gelombang (λ): jarak antara dua puncak/dua lembah yang berurutan pada gelombang transversal, atau dua rapatan/dua rengangan pada gelombang longitudinal.

Cepat Rambat Gelombang (v):

$$v = f \cdot \lambda$$

Alat dan Bahan:

- 1) Tali plastik/nilon ± 2 meter
- 2) Pegas mainan (slinky)
- 3) Stopwatch
- 4) Meteran/penggaris panjang
- 5) Papan tulis/kertas untuk mencatat hasil

Cara Kerja

- 1) Bentuklah kelompok yang terdiri dari 4–5 orang.
- 2) Setiap kelompok menyiapkan alat dan bahan yang sudah ditentukan.
- 3) Percobaan Gelombang Transversal pada Tali
 - ▷ Bentangkan tali secara horizontal di atas meja atau dipegang oleh dua orang pada kedua ujungnya.
 - ▷ Getarkan salah satu ujung tali ke atas-bawah secara teratur.
 - ▷ Amati gelombang yang terbentuk, catat waktu 10 getaran menggunakan stopwatch.
 - ▷ Hitung periode (T) dan frekuensi (f).
 - ▷ Ukur panjang satu gelombang (λ) dengan meteran.
 - ▷ Hitung cepat rambat gelombang ($v = f \cdot \lambda$).

- 4) Percobaan Gelombang Longitudinal pada Pegas (Slinky)
- ▷ Rentangkan pegas (slinky) di lantai lurus sejauh ± 2 m.
 - ▷ Getarkan salah satu ujung pegas ke depan-belakang sehingga terbentuk rapatan dan renggangan.
 - ▷ Catat waktu untuk 10 getaran, lalu hitung periode (T) dan frekuensi (f).
 - ▷ Ukur panjang satu rapatan-renggangan penuh (λ).
 - ▷ Hitung cepat rambat gelombang longitudinal.

Hasil Pengamatan

Tabel Gelombang pada Tali (Transversal)

No.	Waktu untuk 10 getaran (s)	Periode T (s)	Frekuensi f (Hz)	Panjang Gelombang λ (m)	Cepat Rambat v (m/s)
1					
2					
3					

Tabel Gelombang pada Pegas (Longitudinal)

No.	Waktu untuk 10 getaran (s)	Periode T (s)	Frekuensi f (Hz)	Panjang Gelombang λ (m)	Cepat Rambat v (m/s)
1					
2					
3					

Pertanyaan:

- 1) Apa perbedaan antara gelombang transversal dan gelombang longitudinal berdasarkan percobaan yang dilakukan?
- 2) Bagaimana cara menghitung periode dan frekuensi gelombang dari data percobaan?
- 3) Mengapa pada tali terbentuk gelombang transversal, sedangkan pada pegas terbentuk gelombang longitudinal?
- 4) Faktor apa saja yang memengaruhi cepat rambat gelombang pada tali dan pegas?
- 5) Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan ini tentang sifat-sifat gelombang berjalan.



2. Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi merupakan contoh gelombang mekanik yang membutuhkan medium (zat padat, cair, atau gas) untuk merambat. Bunyi adalah gelombang longitudinal, sehingga rambatannya berupa rapatan dan regangan.

Bunyi yang dapat didengar manusia normal memiliki frekuensi audiosonik (20 Hz – 20.000 Hz). Jika frekuensinya lebih rendah dari 20 Hz disebut infrasonik, sedangkan jika lebih tinggi dari 20.000 Hz disebut ultrasonik. Contohnya adalah hewan seperti jangkrik dan gajah mampu mendengar bunyi infrasonik, sedangkan anjing, kelelawar, dan lumba-lumba mampu mendengar bunyi ultrasonik. Bunyi dengan frekuensi teratur disebut nada, sedangkan tinggi-rendahnya nada bergantung pada frekuensi. Kualitasnya bunyi dipengaruhi oleh amplitudo.



Kelelawar dan lumba-lumba mampu mendengar dan memantulkan bunyi ultrasonik – Shutterstock.com.2548081619

Cepat Rambat Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi tidak bisa merambat di ruang hampa, tetapi bisa merambat melalui zat padat, cair, dan gas. Kecepatan bunyi berbeda-beda tergantung mediumnya.

a. Pada Zat Padat

Sebuah batang logam dengan panjang L dan luas penampang A ditarik dengan gaya F , sehingga panjangnya bertambah sebesar ΔL .

Berdasarkan teori elastisitas, berlaku:

$$E = \frac{F}{A} \cdot \frac{L}{\Delta L} \Rightarrow F = \frac{EA\Delta L}{L}$$

Dengan hubungan impuls, momentum, dan pertambahan panjang, diperoleh:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

dengan:

v = cepat rambat bunyi pada zat padat (m/s)

E = modulus Young (N/m²)

ρ = massa jenis zat padat (kg/m³)

L = panjang batang logam (m)

ΔL = pertambahan panjang batang (m)

A = luas permukaan batang (m²)

m = massa batang (kg)

t = lama batang bergerak (s)

I = impuls (N·s)

Δp = perubahan momentum (kg·m/s)

b. Pada Zat Cair

Ketika sebuah benda dipukul di dalam air, bunyinya masih bisa terdengar. Hal ini menunjukkan bahwa bunyi dapat merambat di cairan.

Persamaan cepat rambat bunyi dalam cairan:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

dengan:

v = cepat rambat bunyi dalam zat cair (m/s)

B = modulus bulk zat cair (N/m²)

ρ = massa jenis zat padat (kg/m³)

c. Pada Gas

Gelombang bunyi dalam gas berupa gelombang longitudinal (terdiri dari rapatan dan regangan). Berdasarkan hukum Boyle:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \text{atau} \quad v = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

Namun hasil percobaan menunjukkan bunyi dalam gas dipengaruhi oleh proses adiabatik, sehingga digunakan:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

Dengan menggunakan hukum gas ideal, diperoleh bentuk lain:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_m}}$$

dengan:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \text{tetapan Laplace}$$

R = tetapan gas umum (8,31 J/mol·K)

v = cepat rambat bunyi pada gas (m/s)

T = suhu mutlak (K)

M_m = massa molar (gram/mol)

Kesimpulannya, cepat rambat bunyi dalam gas tidak dipengaruhi oleh tekanan, tetapi dipengaruhi oleh jenis gas dan suhu.

Hubungan perbandingan kecepatan bunyi pada suhu berbeda:

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

1) Resonansi Tabung Udara

Resonansi terjadi ketika suatu benda ikut bergetar karena adanya benda lain yang bergetar di dekatnya dengan frekuensi sama. Resonansi dapat digunakan untuk mengukur cepat rambat bunyi dalam udara.

Sebuah pipa kaca dimasukkan ke dalam air dengan salah satu ujung terbuka. Bila garpu tala digetarkan di atas pipa, bunyi nyaring terdengar pada saat kolom udara memiliki panjang tertentu. Hal ini menandakan terjadinya resonansi.

Untuk resonansi pertama berlaku:

$$L_1 = \frac{1}{4}$$

Untuk resonansi selanjutnya:

$$L_n = (2n - 1) \frac{1}{4}$$

dengan:

L_n = panjang kolom udara (m)

λ = panjang gelombang bunyi (m)

n = urutan resonansi

2) Percobaan Kundt

Percobaan Kundt digunakan untuk mengukur cepat rambat bunyi di udara berdasarkan prinsip resonansi. Sebuah tabung berisi udara dan serbuk gabus ditempatkan secara horizontal. Jika batang pengetar dijepit di salah satu ujung dan digetarkan terus menerus, terbentuk gelombang stasioner di tabung. Serbuk gabus bergerak sehingga terlihat pola simpul dan perut. Panjang gelombang dapat dihitung dari jarak antar simpul atau perut yang berdekatan sebesar $\frac{1}{4}\lambda$.

Persamaan cepat rambat bunyi dalam udara:

$$v = f \lambda$$

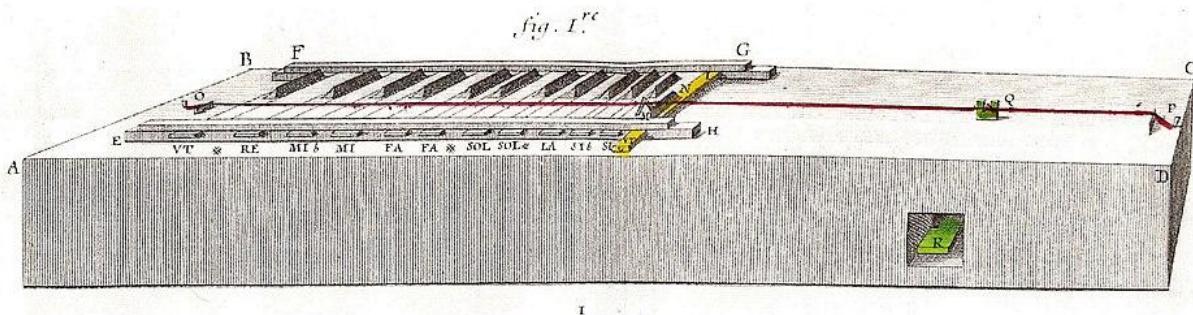
dengan:

f = frekuensi (Hz)

λ = panjang gelombang bunyi (m)

v = cepat rambat bunyi di udara (m/s)

Sonometer dan Pipa Organ



Sonometer – Wikimedia.org

a. Sonometer

Sonometer adalah alat untuk mempelajari dawai yang bergetar. Bila dawai dipetik, akan timbul gelombang stasioner. Nada dasar terjadi jika pada kedua ujung dawai terbentuk simpul, sehingga panjang dawai $L = \frac{1}{2}\lambda$.

Rumus cepat rambat gelombang menurut Melde:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{atau} \quad v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

Karena $v = f\lambda$ dan $\lambda = 2L$, frekuensi nada dasar f_0 :

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Frekuensi nada atas pertama (dawai dipetik di tengah sehingga terbentuk 2 segmen):

$$f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{2v}{2L}$$

Untuk nada atas selanjutnya, digunakan:

$$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : 4 : \dots$$

atau

$$f_n = \frac{(n+1)}{2L} v = \frac{(n+1)}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

dengan:

f_n = frekuensi ke- n (Hz)

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$

μ = massa dawai tiap satuan panjang (kg/m)

L = panjang dawai (m)

F = tegangan dawai (N)

b. Pipa Organa

Pipa organa menghasilkan bunyi karena udara dalam pipa bergetar. Jika udara ditiup, terbentuk gelombang stasioner. Cepat rambat gelombang pada pipa:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M_r}}$$

1) Pipa Organ Terbuka

Kedua ujung terbuka \rightarrow terbentuk perut. Nada dasar terjadi saat panjang pipa.

$$L = \frac{1}{2}\lambda$$

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

Frekuensi nada atas pertama:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{2v}{2L}$$

Umumnya nada atas:

$$f_n = \frac{(n+1)}{2L} v$$

dengan perbandingan frekuensi:

$$f_0 : f_1 : f_2 : \dots = 1 : 2 : 3 :$$

2) Pipa Organ Tertutup

Ujung terbuka = perut, ujung tertutup = simpul. Panjang kolom udara untuk nada dasar:

$$L = \frac{1}{4}\lambda \Rightarrow \lambda = 4L$$

Frekuensi nada dasar:

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L}$$

Jika ditiup lebih kuat hingga terbentuk $\frac{3}{4}$:

$$f_1 = \frac{3v}{4L}$$

Frekuensi nada atas umum:

$$f_n = \frac{(2n+1)}{4L} v$$

dengan perbandingan frekuensi:

$$f_0 : f_1 : f_2 : \dots = 1 : 3 : 5 :$$

Intensitas dan Taraf Intensitas Bunyi

a. Intensitas Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi membawa energi. Energi tiap satuan luas dan satuan waktu disebut intensitas bunyi.

$$I = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{P}{A}$$

dengan:

I = intensitas bunyi (W/m^2)

E = energi bunyi (J)

A = luas bidang yang dilalui bunyi (m^2)

t = waktu (s)

P = daya sumber bunyi (W)

Perbandingan intensitas pada jarak r_1 dan r_2 :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

b. Taraf Intensitas Bunyi

Karena telinga manusia peka terhadap rentang intensitas yang sangat luas, digunakan skala logaritmik untuk menyatakan keras-lembutnya bunyi, yaitu taraf intensitas bunyi (TI).

$$TI = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

dengan:

TI = taraf intensitas bunyi (dB)

I = intensitas bunyi (W/m^2)

I_0 = ambang pendengaran 10^{-12} W/m^2

Contoh: suara normal sekitar 60 dB, suara mesin jet 120 dB.

Jika ada beberapa sumber identik:

$$TI_n = 10 \log n + TI_1$$

Contoh Soal

Sebuah sumber bunyi memancarkan daya sebesar $P = 4 \text{ W}$ secara isotropis (merata ke segala arah). Jika jarak pengamat dari sumber bunyi adalah $r_1 = 2 \text{ m}$:

1. Hitung intensitas bunyi yang diterima pengamat pada jarak tersebut.
2. Hitung taraf intensitas bunyi (TI) yang didengar pengamat.
3. Jika pengamat kedua berada pada jarak $r_2 = 6 \text{ m}$, tentukan perbandingan intensitas I_1/I_2 .

Jawaban Benar:

1. $I_1 = 7,96 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$

2. $TI_1 = 109 \text{ dB}$

3. $\frac{I_1}{I_2} = 9$

Pembahasan:

1. Intensitas pada jarak r_1 :

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$I_1 = \frac{4}{4\pi(2)^2} = \frac{4}{16\pi} = \frac{1}{4\pi} \approx 7,96 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$$

2. Taraf Intensitas Bunyi:

$$TI = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right), \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$TI_1 = 10 \log\left(\frac{7,96 \times 10^{-2}}{10^{-12}}\right)$$

$$= 10 \log(7,96 \times 10^{10})$$

$$TI_1 = 10(\log(7,96) + 10)$$

$$= 10(0,90 + 10) = 10 \times 10,90 = 109 \text{ dB}$$

3. Perbandingan intensitas pada r_1 dan r_2 :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{6^2}{2^2} = \frac{36}{4} = 9$$

Interferensi Gelombang Bunyi

Karena bunyi merupakan gelombang, maka bunyi dapat saling berinterferensi. Ada dua gejala:

a. Percobaan Quincke

Menggunakan pipa bercabang tetap (CAD) dan variabel (CBD). Perbedaan panjang lintasan menyebabkan perbedaan fase bunyi.

Jika beda lintasan: $\Delta s = n\lambda \rightarrow$ terjadi penguatan bunyi.

Jika beda lintasan: $\Delta s = \frac{(2n+1)\lambda}{2} \rightarrow$ terjadi pelemahan bunyi.

b. Layangan Bunyi

Jika dua sumber bunyi mempunyai frekuensi hampir sama, maka akan terjadi gejala layangan (beat).

Jumlah layangan per detik:

$$\Delta f = |f_2 - f_1|$$

Periode layangan:

$$T = \frac{1}{\Delta f}$$

Efek Doppler

Efek Doppler adalah perubahan frekuensi bunyi yang terdengar akibat adanya gerak relatif antara sumber bunyi dan pendengar.

Persamaan dasar:

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

dengan:

f_p = frekuensi yang didengar (Hz)

f_s = frekuensi sumber (Hz)

v = cepat rambat bunyi (m/s)

v_p = kecepatan pendengar (m/s)

v_s = kecepatan sumber (m/s)

Tanda “+” digunakan bila pendengar mendekati sumber atau sumber menjauhi pendengar.

Tanda “-” digunakan bila pendengar menjauhi sumber atau sumber mendekati pendengar.

Jika ada pengaruh angin, maka rumus disesuaikan:

a. Angin searah gelombang:

$$f_p = \frac{v \pm v_p + v_a}{v \pm v_s + v_a} f_s$$

b. Angin berlawanan arah gelombang:

$$f_p = \frac{v \pm v_p - v_a}{v \pm v_s - v_a} f_s$$



Fakta Fisika di Sekitarmu

Angin Bisa “Menipu” Pendengaran Kita

Jika angin bertiup searah dengan rambatan gelombang, frekuensi bunyi yang kita dengar bisa berbeda dari aslinya. Jadi kalau kamu mendengar suara samar di tengah padang, bisa jadi angin yang memanipulasi persepsi kamu.



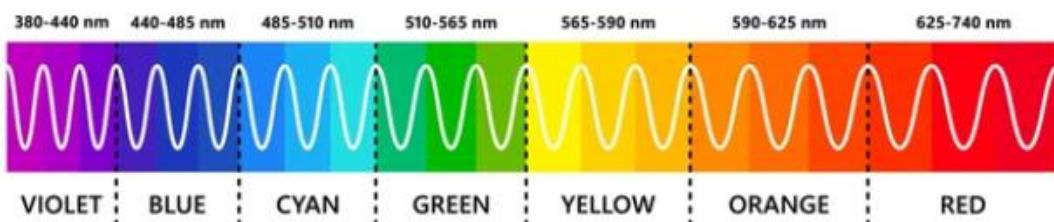


3. Gelombang Cahaya

Spektrum Cahaya dan Dispersi Cahaya

a. Spektrum Cahaya

VISIBLE SPECTRUM



Spektrum cahaya yang dapat tampak – Shutterstock.com.2157853313

Cahaya tampak adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 4.000–7.000 Å. Cahaya ini dapat dilihat oleh mata manusia. Saat merambat dari satu medium ke medium lain, panjang gelombang dan kecepatan cahaya akan berubah, namun frekuensinya tetap sama.

Jika cahaya merambat dengan kecepatan v_1 dalam medium pertama dan v_2 dalam medium kedua, berlaku hubungan:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Karena $f_1 = f_2$, maka diperoleh:

$$n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$$

dengan:

n_1 dan n_2 = indeks bias medium 1 dan 2,

λ_1 dan λ_2 = panjang gelombang cahaya dalam medium 1 dan 2.

Cahaya memiliki sifat dispersi, interferensi, difraksi, dan polarisasi. Jika cahaya putih melewati prisma, cahaya dapat diuraikan menjadi warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Peristiwa pemisahan warna disebut dispersi, sedangkan kumpulan warna hasil uraian disebut spektrum cahaya.

Cahaya yang terdiri dari banyak warna disebut sinar polikromatik, sedangkan cahaya dengan satu warna disebut sinar monokromatik. Contoh sinar monokromatik adalah sinar merah atau sinar hijau. Tiga warna dasar cahaya adalah merah, biru, dan hijau. Pencampuran dua warna dasar menghasilkan warna sekunder, sedangkan pencampuran ketiga warna dasar menghasilkan cahaya putih. Warna sekunder juga bisa diperoleh dari pasangan warna komplementer.

b. Dispersi Cahaya

Dispersi cahaya adalah peristiwa penguraian cahaya polikromatik saat melewati medium dengan indeks bias berbeda. Misalnya cahaya putih yang melewati prisma akan dibiaskan sekaligus diuraikan menjadi komponen warna. Ketika cahaya putih melewati prisma, setiap warna mengalami deviasi berbeda. Besarnya sudut dispersi adalah selisih deviasi terbesar (ungu) dan terk ecil (merah):

$$Q = D_u - D_m$$

Jika sudut deviasi minimum β , maka:

$$D_u = (n_u - 1)$$

$$D_m = (n_m - 1)$$

Sehingga:

$$Q = (n_u - n_m)$$

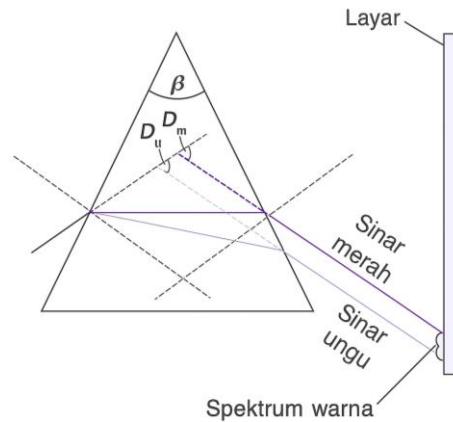
dengan:

Q = sudut dispersi,

n_u = indeks bias warna ungu,

n_m = indeks bias warna merah,

β = sudut pembias.



Interferensi Cahaya

Interferensi cahaya terjadi karena cahaya memiliki sifat gelombang. Dua gelombang cahaya dapat berinterferensi jika bersifat koheren (frekuensi sama, amplitudo tetap, dan beda fase konstan).

a. Percobaan Interferensi Fresnel dan Thomas Young

Fresnel menggunakan cermin datar untuk membagi satu sumber cahaya sehingga terbentuk dua sumber koheren. Young menggunakan celah ganda untuk membagi satu sumber cahaya menjadi dua berkas koheren. Interferensi dari kedua berkas cahaya menghasilkan pola garis terang dan gelap pada layar. Garis terang terjadi jika amplitudo saling menguatkan (konstruktif), sedangkan garis gelap terjadi jika amplitudo saling melemahkan (destruktif).

b. Persamaan Interferensi Thomas Young

Jika cahaya monokromatik melalui celah ganda, beda lintasan antar gelombang dapat dinyatakan:

$$\Delta s = \frac{dp}{1}$$

Interferensi maksimum (terang) terjadi jika beda lintasan merupakan kelipatan panjang gelombang:

$$\Delta s = m\lambda \quad \text{atau} \quad \frac{dp}{1} = m$$

Interferensi minimum (gelap) terjadi jika beda lintasan merupakan kelipatan ganjil setengah panjang gelombang:

$$\Delta s = (2m - 1)\frac{1}{2}\lambda \quad \text{atau} \quad \frac{dp}{1} = (2m - 1)\frac{1}{2}$$

dengan:

d = jarak antar celah,

L = jarak celah ke layar,

p = jarak terang/gelap dari pusat,

λ = panjang gelombang cahaya,

m = orde terang atau orde gelap.

c. Interferensi Cahaya pada Lapisan Tipis

Warna-warna pada gelembung sabun atau lapisan minyak tipis terjadi karena adanya interferensi cahaya. Cahaya yang dipantulkan sebagian dari permukaan atas dan sebagian dari permukaan bawah lapisan tipis dapat saling memperkuat atau saling melemah sehingga menimbulkan pola warna.

▷ Proses perambatan sinar:

- 1) Sinar datang menuju lapisan tipis dengan sudut tertentu. Sebagian dipantulkan dari permukaan atas, sebagian lagi masuk ke dalam lapisan.
- 2) Sinar yang masuk ke dalam lapisan dipantulkan kembali oleh permukaan bawah, kemudian keluar setelah melalui lapisan tersebut.
- 3) Kedua sinar (pantulan dari atas dan bawah) bersifat koheren sehingga dapat saling berinterferensi.
- 4) Perbedaan lintasan antara dua sinar inilah yang menentukan terjadinya interferensi maksimum (terang) atau minimum (gelap).

▷ Perbedaan lintasan:

$$\Delta s = n2(BD + DE) - BG$$

dengan:

n = indeks bias lapisan tipis

Hasil akhirnya didapat:

$$\Delta s = \frac{2nd}{\cos r} \cos^2 r$$

Agar terjadi interferensi maksimum:

$$2nd \cos r = (2m - 1) \frac{1}{2} \lambda$$

Agar terjadi interferensi minimum:

$$2nd \cos r = m$$

dengan:

n = indeks bias lapisan

d = tebal lapisan (m)

r = sudut bias

λ = panjang gelombang cahaya (m)

m = orde terang atau gelap

Difraksi Cahaya

a. Difraksi pada Celah Tunggal

Cahaya yang melewati celah sempit akan mengalami pelenturan dan membentuk pola interferensi berupa garis-garis terang dan gelap.

Jika lebar celah d , interferensi minimum terjadi bila beda lintasan:

$$\Delta s = \frac{d \sin \theta}{2} = \frac{1}{2} \lambda$$

Secara umum:

$$d \sin \theta = m$$

atau untuk kondisi minimum:

$$d \sin \theta = (2m - 1) \frac{1}{2} \lambda$$

dengan:

d = lebar celah (m)

θ = sudut difraksi

λ = panjang gelombang cahaya (m)

$m = 1, 2, 3, \dots$

b. Difraksi pada Kisi

Kisi merupakan kumpulan banyak celah sejajar yang dapat menghasilkan pola interferensi lebih tajam dibanding celah ganda.

Konstanta kisi:



Warna-warni pada CD atau DVD adalah contoh difraksi cahaya – Shutterstock.com.2118517538

$$d = \frac{1}{k}$$

dengan:

d = lebar satu celah kisi (cm)

k = jumlah celah tiap cm

Pola interferensi maksimum:

$$d \sin \theta = m$$

Pola interferensi minimum:

$$d \sin \theta = (2m - 1) \frac{1}{2} \lambda$$

c. Difraksi Sinar-X dan Hukum Bragg

Untuk menganalisis struktur kristal, digunakan sinar-X karena panjang gelombangnya sangat pendek dan sebanding dengan jarak antar atom.

Interferensi maksimum terjadi bila beda lintasan memenuhi:

$$2d \sin \theta = n$$

dengan:

d = jarak antar atom (m)

θ = sudut hamburan

n = orde difraksi (1, 2, 3, ...)

λ = panjang gelombang sinar-X

Polarisasi Cahaya

Cahaya merupakan gelombang transversal sehingga dapat dipolarisasi. Polarisasi adalah peristiwa perubahan cahaya alam yang bergetar ke segala arah menjadi cahaya yang bergetar pada satu bidang

tertentu. Cahaya yang bergetar ke segala arah disebut cahaya alam, sedangkan cahaya yang bergetar pada satu bidang tertentu disebut cahaya terpolarisasi.

Faktor yang menyebabkan polarisasi antara lain adalah pemantulan, pembiasan, pembiasan ganda, dan absorpsi selektif.

a. Polarisasi Cahaya karena Pemantulan

Jika cahaya jatuh ke permukaan datar dengan sudut datang tertentu, sebagian sinar akan dipantulkan dengan getaran hanya pada satu bidang. Cahaya ini disebut terpolarisasi linier. Prinsip ini digunakan dalam pembuatan kacamata anti-UV.

b. Polarisasi Cahaya karena Pembiasan

Apabila cahaya masuk dari satu medium ke medium lain yang memiliki indeks bias berbeda, sebagian sinar dibiaskan dan sebagian dipantulkan. Dengan mengatur sudut datang hingga sudut pantul tegak lurus sinar bias ($p + r = 90^\circ$), cahaya pantul menjadi terpolarisasi sempurna.

Berdasarkan hukum Snellius:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

Dengan syarat:

$$\tan i_p = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{atau} \quad i_p = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

dengan:

i_p = sudut polarisasi

r = sudut bias

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2

n_{12} = indeks bias relatif medium 2 terhadap medium 1

Persamaan ini dikenal sebagai Hukum Brewster.

c. Polarisasi Cahaya karena Pembiasan Ganda

Jika cahaya memasuki kristal tertentu (seperti mika atau kalsit) yang memiliki dua nilai indeks bias, cahaya akan terbelah menjadi dua. Sinar pertama disebut sinar biasa (ordinary ray) yang mengikuti hukum Snellius, sedangkan sinar kedua disebut sinar istimewa (extraordinary ray) yang tidak mengikuti hukum Snellius. Inilah yang disebut pembiasan ganda.

d. Polarisasi Cahaya karena Absorpsi Selektif

Dengan menggunakan polaroid, cahaya alam dapat diubah menjadi cahaya terpolarisasi. Polaroid hanya meneruskan gelombang cahaya yang getarannya sejajar dengan sumbu transmisinya, sedangkan getaran tegak lurus sumbu tersebut diserap.

Polarisasi absorpsi selektif terjadi ketika cahaya dilewatkan melalui polaroid. Sebuah polaroid ideal hanya meneruskan medan listrik cahaya yang sejajar dengan sumbu polarisasi, sedangkan medan listrik yang tegak lurus sumbu tersebut akan diserap. Jika cahaya alam dengan intensitas I_0 dilewatkan pada polaroid, maka intensitas cahaya yang keluar berkangurang menjadi setengahnya, yaitu:

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

Polarisator digunakan untuk mengubah cahaya tak terpolarisasi menjadi cahaya terpolarisasi. Sementara itu, analisaor berfungsi untuk mengatur kembali intensitas cahaya terpolarisasi. Bila analisaor diputar dengan sudut θ terhadap polarisator, maka intensitas cahaya yang keluar mengikuti hukum Malus:

$$I' = I \cos^2 \theta = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \theta$$

dengan:

I_0 = intensitas cahaya alam (W/m^2)

I = intensitas cahaya terpolarisasi setelah polarisator (W/m^2)

I' = intensitas cahaya terpolarisasi setelah analisator (W/m^2)

θ = sudut antara polarisator dan analisator

Cahaya yang keluar dari analisator akan maksimum ketika sumbu polarisator dan analisator sejajar ($\theta = 0^\circ$), dan minimum ketika keduanya tegak lurus ($\theta = 90^\circ$).

Jika intensitas cahaya alam berhubungan dengan amplitudo A_0 , maka setelah melewati polarisator amplitudonya menjadi $\frac{1}{2}A_0$. Setelah melalui analisator, amplitudo cahaya yang keluar ditentukan oleh:

$$A' = A \cos^2 \theta = \frac{1}{2} A_0 \cos^2 \theta$$

dengan:

A_0 = amplitudo cahaya alam (m)

A = amplitudo cahaya setelah polarisator (m)

A' = amplitudo cahaya setelah analisator (m)

θ = sudut antara polarisator dan analisator

Contoh Soal

Seorang siswa melakukan percobaan menggunakan kisi difraksi untuk menganalisis spektrum cahaya lampu putih. Jika cahaya dengan panjang gelombang lebih besar mengalami deviasi (sudut difraksi) yang lebih besar, maka warna yang paling jauh menyebar untuk orde yang sama adalah

Pembahasan:

Kisi difraksi memenuhi persamaan:

$$d \sin \theta = n$$

Untuk orde yang sama (n konstan), besar sudut θ bergantung pada panjang gelombang λ .

Semakin besar λ , semakin besar pula $\sin \theta$, sehingga sudut deviasinya makin besar.

Urutan panjang gelombang cahaya tampak adalah:

Ungu ($\approx 400 \text{ nm}$), Biru ($\approx 450 \text{ nm}$), Hijau ($\approx 550 \text{ nm}$), Kuning ($\approx 580 \text{ nm}$), Merah ($\approx 700 \text{ nm}$)

Karena merah memiliki panjang gelombang paling besar, maka cahaya merah akan dibelokkan paling kuat (sudut paling besar).

Rangkuman

1) Konsep Gelombang

Gelombang adalah perambatan getaran yang membawa energi tanpa memindahkan partikel medium secara permanen. Berdasarkan mediumnya, gelombang dibedakan menjadi gelombang mekanik (memerlukan medium, seperti gelombang bunyi) dan gelombang elektromagnetik (tidak memerlukan medium, seperti cahaya). Berdasarkan arah getarnya, gelombang dapat berupa transversal (arah getar tegak lurus arah rambat) atau longitudinal (arah getar sejajar arah rambat). Besaran penting pada gelombang antara lain amplitudo (simpangan maksimum), panjang gelombang (jarak satu siklus), periode, frekuensi, dan kecepatan rambat. Gelombang dapat berbentuk gelombang berjalan (merambat) atau gelombang stasioner (tetap di tempat dengan simpul dan perut).

$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = f \cdot \lambda$$

Persamaan gelombang berjalan:

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{\lambda} \right) \right)$$

Kecepatan maksimum gelombang:

$$v_{\max} = \omega A$$

Gelombang pada dawai:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

2) Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi adalah gelombang mekanik longitudinal yang merambat melalui zat padat, cair, atau gas dan tidak dapat merambat di ruang hampa. Bunyi dapat diklasifikasikan menjadi infrasonik (<20 Hz), audiosonik (20 Hz – 20 kHz), dan ultrasonik (>20 kHz). Kecepatan bunyi bergantung pada medium dan suhunya. Pada zat padat, kecepatan bunyi bergantung pada modulus elastisitas dan massa jenis; pada gas, bergantung pada suhu. Bunyi juga menunjukkan fenomena resonansi, interferensi, efek Doppler, serta perbedaan intensitas dan taraf intensitas. Nada dasar dan harmonik dapat dibentuk pada dawai (sonometer) dan pipa organa (terbuka dan tertutup).

Kecepatan bunyi pada gas:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_m}}$$

Resonansi pipa tertutup:

$$f_0 = \frac{v}{4L}$$

Resonansi pipa terbuka:

$$f_0 = \frac{v}{2L}$$

Intensitas bunyi:

$$I = \frac{P}{A}$$

Efek Doppler:

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

3) Gelombang Cahaya

Cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, dan polarisasi. Saat melewati medium dengan indeks bias berbeda, cahaya dibelokkan sesuai hukum Snellius. Dispersi terjadi ketika cahaya putih diuraikan menjadi spektrum warna karena perbedaan indeks bias. Interferensi cahaya ditunjukkan pada percobaan celah ganda Young, sedangkan difraksi tampak pada celah sempit atau kisi. Polarisasi membuktikan bahwa cahaya adalah gelombang transversal. Gejala lain seperti interferensi lapisan tipis dan hukum Brewster juga mendukung sifat gelombang cahaya.

Hukum Snellius:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

Interferensi celah ganda (Young):

$$\Delta s = m\lambda$$

Difraksi kisi:

$$d \sin \theta = m$$

Hukum Bragg (difraksi sinar-X):

$$2d \sin \theta = n$$

Sudut polarisasi (Hukum Brewster):

$$\tan i_p = \frac{n_2}{n_1}$$

Latihan Soal

1. Sebuah eksperimen dilakukan untuk mempelajari gelombang pada tali. Jika tegangan pada tali ditingkatkan dua kali lipat, bagaimana perubahan kecepatan rambat gelombang pada tali tersebut?
 - A. Tetap sama
 - B. Bertambah dua kali lipat
 - C. Bertambah akar dua kali lipat
 - D. Berkurang setengah kali
 - E. Berkurang akar dua kali lipat
2. Sebuah gelombang berjalan pada tali dinyatakan dengan persamaan $y = 0,02 \sin(4\pi t - 2\pi x)$, dengan y dan x dalam meter dan t dalam detik. Tentukan panjang gelombang gelombang tersebut!
 - A. 0,25 m
 - B. 0,5 m
 - C. 1 m
 - D. 2 m
 - E. 4 m
3. Sebuah gelombang merambat pada permukaan air dengan kecepatan 2 m/s dan frekuensi 5 Hz. Berapakah panjang gelombangnya?
 - A. 0,2 m
 - B. 0,4 m
 - C. 0,5 m
 - D. 0,8 m
 - E. 1,0 m
4. Kecepatan bunyi di udara pada suhu tertentu adalah 340 m/s. Sebuah pipa organa terbuka di kedua ujungnya memiliki panjang 0,85 m. Tentukan frekuensi nada dasarnya!
 - A. 100 Hz
 - B. 150 Hz
 - C. 200 Hz
 - D. 300 Hz
 - E. 400 Hz
5. Sebuah sumber bunyi bergerak mendekati pendengar dengan kecepatan 20 m/s. Kecepatan bunyi di udara 340 m/s, dan frekuensi sumber 500 Hz. Tentukan frekuensi yang didengar pendengar!
 - A. 521 Hz
 - B. 531 Hz
 - C. 541 Hz
 - D. 551 Hz
 - E. 561 Hz

6. Sebuah cahaya datang dari udara ($n_1 = 1$) ke kaca ($n_2 = 1,5$) dengan sudut datang 30° . Tentukan sudut biasnya!
- A. $15,3^\circ$
 - B. $19,5^\circ$
 - C. $20,6^\circ$
 - D. $30,5^\circ$
 - E. $45,3^\circ$
7. Dua celah pada percobaan Young dipisahkan sejauh 0,5 mm dan ditempatkan 2 m dari layar. Jika digunakan cahaya monokromatik dengan panjang gelombang 600 nm, tentukan jarak antara dua pita terang yang berurutan!
- A. 0,6 mm
 - B. 1,2 mm
 - C. 2,4 mm
 - D. 3,0 mm
 - E. 4,0 mm

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!

Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 9



Referensi

- Giancoli, D. C. (2014). *Physics: Principles with Applications* (7th ed.). Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (10th ed.). Cengage Learning.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University Physics with Modern Physics* (15th ed.). Pearson Education.
- OpenStax. (2022). *University Physics Volume 1 & 2*. OpenStax CNX. <https://openstax.org/books>
- Knight, R. D. (2017). *Physics for Scientists and Engineers: A Strategic Approach* (4th ed.). Pearson Education.



BAB 10: ENERGI PANAS DAN TERMODINAMIKA

Karakter Pelajar Pancasila

Kreatif, Bernalar kritis, dan Mandiri

Kata Kunci: Kalor, Perubahan Wujud, Kapasitas Kalor, Asas Black, Konduksi, Konveksi, Radiasi, Termodinamika, Usaha Luar, Proses Isobarik, Proses Isokhorik, Proses Isotermal, Proses Adiabatik, Hukum I Termodinamika, Mesin Carnot, Efisiensi, Hukum II Termodinamika, Entropi.

Tujuan Pembelajaran: Memahami kalor dan penerapannya dalam termodinamika

1. Menjelaskan perubahan energi kalor dalam kehidupan sehari-hari

- ▷ Memberikan contoh nyata peristiwa perubahan kalor di lingkungan sekitar.
- ▷ Menghubungkan konsep kalor dengan fenomena fisika yang dialami sehari-hari.

2. Menganalisis pengaruh kalor dan perpindahannya terhadap sifat termal zat

- ▷ Menguraikan karakteristik zat berdasarkan perubahan suhu dan kalor yang diterimanya.
- ▷ Menjelaskan peran kalor dalam peristiwa konduksi, konveksi, dan radiasi.

3. Melakukan percobaan tentang sifat termal zat dan penerapan asas Black

- ▷ Merancang percobaan untuk menentukan kalor jenis zat menggunakan kalorimeter.

- ▷ Menyajikan hasil percobaan dalam bentuk laporan atau presentasi ilmiah.

4. Mengkaji proses pertukaran energi dalam sistem gas

- ▷ Menjelaskan hubungan tekanan, volume, dan suhu gas berdasarkan hukum termodinamika.
- ▷ Menafsirkan grafik hubungan tekanan-volume untuk memahami usaha luar.

5. Memformulasikan hukum I termodinamika dalam sistem energi

- ▷ Mengaitkan hukum kekekalan energi dengan hukum I termodinamika.
- ▷ Menghitung energi dalam, kalor, dan usaha dalam suatu sistem sederhana.

6. Menentukan besar usaha luar sistem termodinamika menggunakan diagram

- ▷ Membaca dan menafsirkan diagram P-V (tekanan-volume).
- ▷ Menghitung usaha luar dari perubahan volume gas pada berbagai proses (isobarik, isokhorik, isothermal, adiabatik).

7. Mengevaluasi cara kerja mesin kalor dan mesin pendingin

- ▷ Menjelaskan prinsip kerja mesin Carnot dan mesin pendingin.
- ▷ Menganalisis efisiensi mesin kalor serta koefisien performansi mesin pendingin.

F

I

T

R

I



1. Konsep Kalor dan Perubahan Wujud Zat

Pengertian Kalor

Sebelum ilmu fisika berkembang pesat, masyarakat menganggap kalor sebagai suatu zat halus tak bermassa yang dapat mengalir dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Pandangan ini dikenal sebagai teori zat alir. Namun, setelah para ilmuwan melakukan pengukuran yang teliti, teori tersebut ditinggalkan karena terbukti tidak benar.

Beberapa tokoh penting dalam penemuan konsep kalor antara lain:

a. Yoseph Black (1728–1799)

Ia adalah ilmuwan pertama yang menemukan metode untuk mengukur kalor. Hasil penelitiannya melahirkan asas penting:

“Kalor yang diterima oleh suatu benda sama dengan kalor yang dilepaskan oleh benda lain.”

b. Robert Mayer (1814–1873)

Mayer menolak teori zat alir dan menyatakan bahwa kalor adalah bentuk energi. Dalam percobaannya, ia menunjukkan bahwa jika air dalam botol dikocok, suhu air meningkat. Hal ini membuktikan bahwa energi mekanik dapat berubah menjadi kalor.

c. James Prescott Joule (1814–1889)

Joule melakukan berbagai eksperimen yang memperlihatkan bahwa kalor adalah energi. Salah satu percobaannya menggunakan pengaduk air yang digerakkan oleh beban jatuh. Dari hasil ini, ia menemukan kesetaraan antara energi mekanik dan kalor yaitu, 1 kalori = 4,2 Joule

Kalor sebagai Energi

Kalor adalah bentuk energi yang berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Energi ini dapat ditimbulkan dari energi mekanik, listrik, kimia, dan sebagainya.

Secara matematis, jumlah kalor yang diterima atau dilepaskan oleh suatu benda dinyatakan dengan:

$$Q = mc \Delta T$$

dengan:

Q = kalor (Joule atau kalori)

m = massa benda (kg atau g)

c = kalor jenis ($J/kg^{\circ}C$ atau $kal/g^{\circ}C$)

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}C$)

Kapasitas Kalor dan Kalor Jenis

a. Kapasitas Kalor (C)

Kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda sebesar $1^{\circ}C$.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

dengan:

C = kapasitas kalor ($J/^{\circ}C$ atau $kal/^{\circ}C$)

Q = kalor (J atau kal)

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

b. Kalor Jenis (c)

Kalor jenis adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 kg zat sebesar 1°C .

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

dengan:

Q = kalor (J atau kal)

m = massa benda (kg atau g)

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

c = kalor jenis (J/kg $^{\circ}\text{C}$ atau kal/g $^{\circ}\text{C}$)

Contoh nilai kalor jenis: air 4.200 J/kg $^{\circ}\text{C}$, es 2.100 J/kg $^{\circ}\text{C}$, aluminium 900 J/kg $^{\circ}\text{C}$, dan lain-lain.

Asas Black

Menurut Asas Black, kalor yang dilepas benda bersuhu tinggi sama dengan kalor yang diterima benda bersuhu rendah.

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}}$$

atau:

$$C(T_1 - T_a) + m_1 c_1 (T_1 - T_a) = m_2 c_2 (T_a - T_2)$$

dengan:

C = kapasitas kalor kalorimeter

T_1 = suhu air dan kalorimeter mula-mula

T_2 = suhu benda dingin

T_a = suhu akhir setelah setimbang

m_1, c_1 = massa dan kalor jenis air

m_2, c_2 = massa dan kalor jenis benda

Perubahan Wujud Zat

Kalor tidak hanya menyebabkan perubahan suhu, tetapi juga dapat mengubah wujud zat. Proses perubahan wujud ini dapat terjadi tanpa perubahan suhu (isotermal).

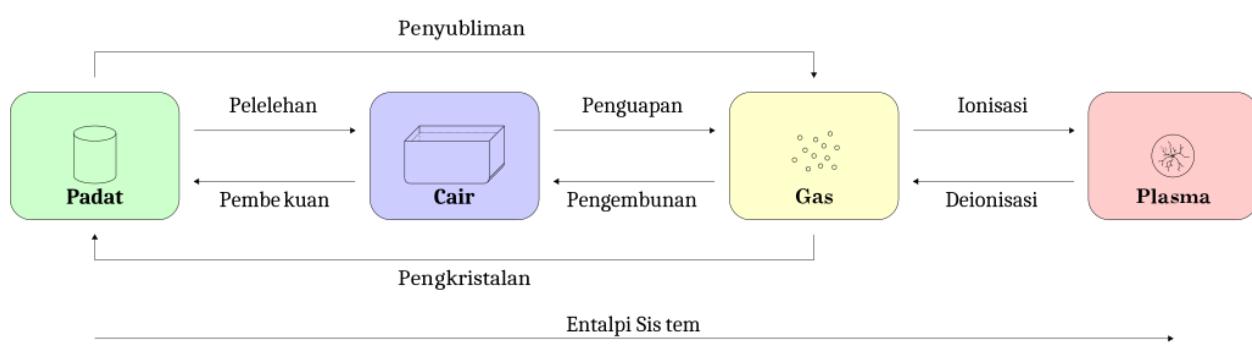


Diagram tata nama untuk transisi fase yang berbeda-beda – Wikipedia.org

a. Melebur dan Membeku

Melebur: zat padat menjadi cair, menyerap kalor.

Membeku: zat cair menjadi padat, melepaskan kalor.

$$L = \frac{Q}{m} \quad \text{atau} \quad Q = mL$$

dengan:

L = kalor lebur (J/kg atau kal/g)

b. Menguap dan Mengembun

Menguap: zat cair menjadi gas, menyerap kalor.

Mengembun: zat gas menjadi cair, melepaskan kalor.

$$L = \frac{Q}{m} \quad \text{atau} \quad Q = mL$$

dengan:

L = kalor uap atau embun (J/kg atau kal/g)

Diagram Fase Zat

Hubungan antara suhu dan tekanan terhadap wujud zat digambarkan dalam diagram fase.

- Garis AB = garis lebur (padat-cair)
- Garis AC = garis uap (cair-gas)
- Garis OA = garis sublimasi (padat-gas)
- Titik A = titik tripel (padat, cair, gas seimbang)
- Titik C = titik kritis (gas tidak dapat dicairkan lagi meski diberi tekanan tinggi)

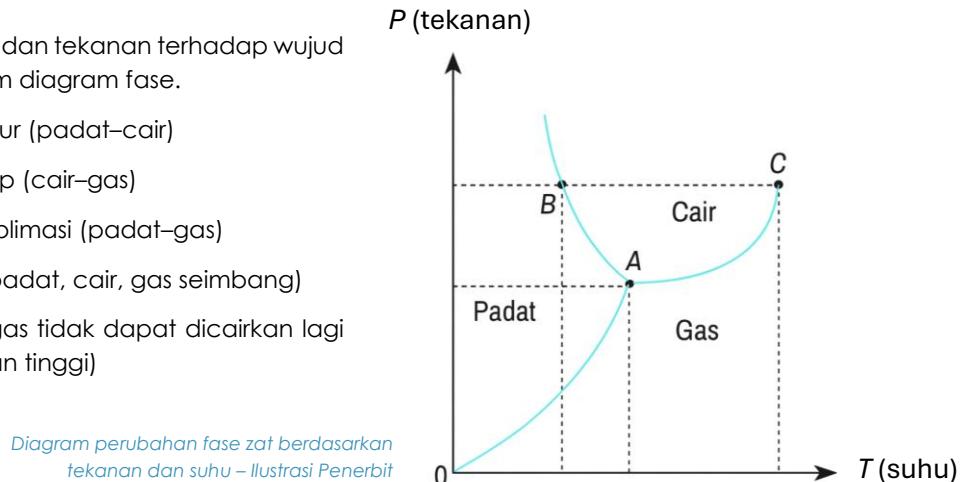


Diagram perubahan fase zat berdasarkan tekanan dan suhu – Ilustrasi Penerbit

Pengaruh Tekanan terhadap Perubahan Wujud

Tekanan berperan dalam menentukan titik lebur dan titik didih zat:

- Tekanan tinggi dapat menurunkan titik lebur (contoh: kawat tembaga menekan es hingga es mencair).
- Tekanan tinggi dapat menaikkan titik didih, sedangkan tekanan rendah menurunkan titik didih. Oleh sebab itu, di pegunungan air mendidih pada suhu di bawah 100°C.

Contoh Soal

Sebuah benda bermassa 500 gram dipanaskan sehingga suhunya naik dari 30°C menjadi 80°C . Jika kalor jenis benda tersebut adalah $0,2 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$, tentukan jumlah kalor yang diperlukan!

Pembahasan:

Diketahui:

$$m = 500 \text{ g}$$

$$c = 0,2 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 80^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 80 - 30 = 50^{\circ}\text{C}$$

Gunakan persamaan: $Q = mc \Delta T$

Substitusi nilai:

$$Q = (500)(0,2)(50)$$

$$Q = 5.000 \text{ kal}$$

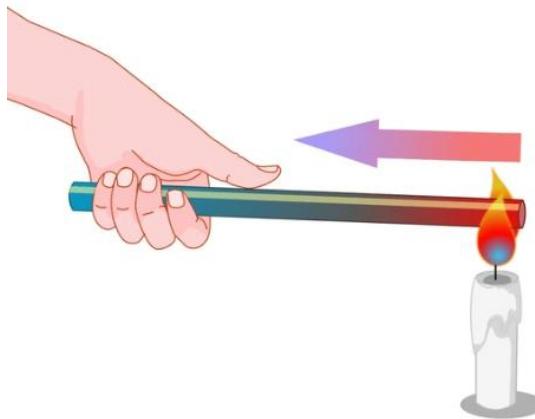
Jadi, kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda tersebut adalah 5.000 kalori.



2. Perpindahan Kalor

Kalor adalah energi yang berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Proses perpindahan kalor dapat terjadi dengan tiga cara utama: konduksi (hantaran), konveksi (aliran), dan radiasi (pancaran).

Perpindahan Kalor Secara Konduksi



Perpindahan kalor pada batang logam yang dipanaskan – Shutterstock.com. 2535612305

Konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan partikel zat secara nyata. Contoh sederhana adalah ketika salah satu ujung batang logam dipanaskan, maka ujung lain lambat laun juga terasa panas.

Hal ini terjadi karena atom-atom logam yang dipanaskan mulai bergetar, lalu getaran ini diteruskan ke atom-atom di sekitarnya. Selain itu, dalam logam terdapat elektron bebas yang bergerak cepat membawa energi ke seluruh bagian logam.

a. Faktor yang Mempengaruhi Laju Aliran Kalor pada Konduksi

Secara eksperimen, laju aliran kalor pada konduksi dipengaruhi oleh:

- 1) luas permukaan penghantar,
- 2) perbedaan suhu kedua ujung,
- 3) panjang penghantar, dan
- 4) jenis material (koefisien konduktivitas termal).

b. Persamaan konduksi kalor

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA\Delta T}{l}$$

atau

$$H = \frac{kA\Delta T}{l}$$

dengan:

Q = kalor yang mengalir (J atau kal),

t = waktu (s),

H = laju aliran kalor (J/s atau kal/s),

k = koefisien konduktivitas termal (W/m°C atau kal/cm s °C),

A = luas permukaan penghantar (m² atau cm²),

ΔT = perbedaan suhu ($T_1 - T_2$),

l = panjang penghantar (m atau cm).

Bahan dengan nilai k tinggi disebut konduktor (misalnya logam), sedangkan bahan dengan nilai k kecil disebut isolator (misalnya kayu, gabus, plastik).

Perpindahan Kalor Secara Konveksi



Gerakan massa air yang lebih panas naik sedangkan air yang lebih dingin turun ketika memasak air disebut perpindahan panas melalui gerakan massa zat (konveksi) – Shutterstock.com. 1812681904

Konveksi adalah perpindahan kalor yang disertai perpindahan partikel zat perantara. Peristiwa ini umum terjadi pada fluida (zat cair dan gas). Misalnya, ketika air dalam panci dipanaskan, air yang berada dekat dasar panci akan naik karena lebih panas dan ringan, sementara air yang lebih dingin turun mengantikannya.

a. Persamaan Perpindahan Kalor secara Konveksi

Besar kalor yang mengalir tiap satuan waktu secara konveksi dirumuskan dengan:

$$H = hA \Delta T$$

dengan keterangan:

H = laju aliran kalor (J/s atau kal/s),

h = koefisien konveksi termal (J/s · m² · °C atau kal/s · cm² · °C),

A = luas penampang perpindahan kalor (m² atau cm²),

ΔT = perbedaan suhu zat alir (°C).

b. Jenis Konveksi

Konveksi dibedakan menjadi:

- 1) Konveksi Alami, terjadi karena perbedaan massa jenis akibat perbedaan suhu (contoh: cerobong asap, angin laut).
- 2) Konveksi Paksa, terjadi karena adanya alat atau usaha khusus yang menggerakkan zat alir (contoh: kipas angin, pompa air, mesin pendingin).

Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Radiasi adalah perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan medium perantara. Energi radiasi dapat merambat di ruang hampa, contohnya adalah panas Matahari yang sampai ke Bumi.

Setiap benda yang bersuhu di atas 0 Kelvin memancarkan energi radiasi. Benda hitam kusam menyerap dan memancarkan energi lebih baik daripada benda mengkilap atau putih.



Panas matahari dapat mengeringkan baju basah dengan konsep radiasi kalor – Shutterstock.com. 2457199325

Persamaan daya radiasi benda hitam diberikan oleh hukum Stefan–Boltzmann:

$$P = e\sigma AT^4$$

dengan:

P = daya radiasi (W atau J/s),

e = emisivitas permukaan ($0 \leq e \leq 1$),

σ = tetapan Stefan–Boltzmann ($5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$),

A = luas permukaan (m^2),

T = suhu mutlak benda (K).

Jika suhu benda T_1 berbeda dengan suhu lingkungan T_2 , intensitas radiasi bersih yang dipancarkan adalah:

$$W = e\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

dengan:

W = intensitas radiasi (W/m^2),

T_1 = suhu mutlak benda (K),

T_2 = suhu mutlak lingkungan (K).

Contoh peristiwa radiasi dalam kehidupan sehari-hari adalah panas matahari yang terasa di kulit, serta proses menjemur pakaian di bawah sinar matahari.

Contoh Soal

Sebuah batang logam memiliki panjang $l = 0,5 \text{ m}$ dan luas penampang $A = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Kedua ujung batang dipertahankan pada suhu berbeda, yaitu $T_1 = 100^\circ\text{C}$ dan $T_2 = 40^\circ\text{C}$. Jika koefisien konduktivitas termal logam tersebut adalah $k = 400 \text{ W/m} \cdot {}^\circ\text{C}$, hitunglah laju aliran kalor yang mengalir melalui batang logam itu!

Pembahasan:

Diketahui:

$$l = 0,5 \text{ m}$$

$$A = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 40^\circ\text{C}$$

$$k = 400 \text{ W/m} \cdot {}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 100 - 40 = 60^\circ\text{C}$$

Gunakan rumus konduksi kalor:

$$H = \frac{kA\Delta T}{l}$$

Substitusi nilai:

$$H = \frac{(400)(2 \times 10^{-4})(60)}{0,5}$$

$$H = \frac{4,8}{0,5}$$

$$H = 9,6 \text{ W}$$

Jadi, laju aliran kalor yang mengalir melalui batang logam tersebut adalah 9,6 Watt.

Fakta Fisika di Sekitarmu



Angin laut dan angin darat adalah "AC alami" ciptaan alam yang bekerja bergantian antara siang dan malam. Pada siang hari, daratan cepat panas sehingga udara di atasnya naik, lalu udara dari laut yang lebih sejuk bergerak masuk menggantikannya, terciptalah angin laut yang membuat suasana pantai terasa segar. Sebaliknya, pada malam hari daratan lebih cepat dingin, sedangkan laut masih menyimpan panas, sehingga udara hangat di atas laut naik dan angin dari darat bergerak menuju laut. Inilah yang kita kenal sebagai angin darat, sistem alami yang membuat pantai selalu punya pola tiupan angin yang unik siang dan malam.



Pergerakan angin di laut dan ombak –
Wikipedia.org



3. Usaha Luar dan Kapasitas Kalor

Ilmu termodinamika membahas hubungan antara kalor dan energi dalam suatu sistem. Sistem yang dimaksud biasanya berupa gas di dalam wadah tertutup. Energi kalor yang diberikan pada gas tidak hanya meningkatkan suhu, tetapi juga dapat menghasilkan usaha luar berupa perubahan volume gas.

Usaha Luar

Usaha adalah perpindahan energi melalui gaya yang dilakukan sistem pada lingkungannya. Jika gas dalam tabung berpiston dipanaskan, maka gas akan memuai dan mendorong piston sehingga volumenya bertambah. Perubahan volume inilah yang menunjukkan adanya usaha luar.

Persamaan usaha luar:

$$\Delta W = P \Delta V$$

dengan:

ΔW = usaha luar (J),

P = tekanan gas (Pa),

ΔV = perubahan volume gas (m^3).

Jika usaha dilakukan oleh sistem (ekspansi gas), nilainya positif. Jika usaha dilakukan oleh lingkungan (pemampatan gas), nilainya negatif:

$$\Delta W = -P \Delta V$$

Untuk tekanan tidak tetap, usaha luar sama dengan luas di bawah kurva grafik $P - V$.

$$\Delta W = \int P \, dV$$

Usaha Luar untuk Berbagai Proses

Gas dapat mengalami beberapa jenis proses, yaitu:

a. Proses Isobarik (tekanan tetap)

$$\Delta W = P \Delta V = P(V_2 - V_1)$$

b. Proses Isochorik (volume tetap)

Karena $\Delta V = 0$, maka:

$$\Delta W = 0$$

c. Proses Isotermal (suhu tetap)

Pada kondisi isotermal, suhu gas tetap sehingga berlaku hukum gas ideal $P = \frac{nRT}{V}$. Usaha dihitung dengan integral:

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

dengan:

n = mol gas,

R = tetapan gas (8,31 J/mol·K),

T = suhu mutlak gas (K),

V_1, V_2 = volume awal dan akhir (m^3).

Kapasitas Kalor

Kapasitas kalor (C) adalah banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda sebesar 1 K.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = C\Delta T$$

Ada dua jenis kapasitas kalor pada gas:

a. Kapasitas Kalor pada Tekanan Tetap (C_p)

$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T} \Rightarrow Q_p = C_p\Delta T$$

b. Kapasitas Kalor pada Volume Tetap (C_v)

$$C_v = \frac{Q_v}{\Delta T} \Rightarrow Q_v = C_v\Delta T$$

Q_v = kalor pada volume tetap (J),

C_v = kapasitas kalor pada volume tetap (J/K),

ΔT = perubahan suhu (K).



Fakta Fisika di Sekitarmu

Saat kita makan, energi kimia dalam makanan diubah menjadi energi mekanik (gerak) dan energi panas (kalor). Prinsipnya sama seperti hukum I termodinamika yaitu, energi tidak hilang, hanya berubah bentuk.



Aktivitas makan akan mengubah bentuk energi – Shutterstock.com.1051757447

Hubungan C_p dan C_v

Jika gas dipanaskan pada volume tetap (isokhorik), seluruh kalor hanya menaikkan suhu. Tetapi pada tekanan tetap (isobarik), sebagian kalor digunakan untuk menaikkan suhu dan sebagian untuk usaha luar.

Perbedaan antara kalor pada tekanan tetap dan kalor pada volume tetap dituliskan sebagai:

$$C_p - C_v = nR$$

dengan:

C_p = kapasitas kalor pada tekanan tetap (J/K),

C_v = kapasitas kalor pada volume tetap (J/K),

n = mol gas,

R = tetapan gas (8,31 J/mol·K).

Kapasitas Kalor Molar

Kapasitas kalor molar adalah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu mol gas sebesar 1 K.

a. **Pada tekanan tetap:**

$$C_{p,m} = \frac{Q_p}{n\Delta T} \Rightarrow Q_p = nC_{p,m}\Delta T$$

b. **Pada volume tetap:**

$$C_{v,m} = \frac{Q_v}{n\Delta T} \Rightarrow Q_v = nC_{v,m}\Delta T$$

Untuk gas ideal, berlaku hubungan:

$$C_{p,m} - C_{v,m} = R$$

Nilai C_v dan C_p pada Gas

Nilai kapasitas kalor molar bergantung pada jumlah atom dalam molekul gas:

a. **Gas monoatomik (He, Ne, Ar):**

$$C_v = \frac{3}{2}nR, \quad C_p = \frac{5}{2}nR$$

b. **Gas diatomik (H_2 , O_2 , N_2) pada suhu sedang:**

$$C_v = \frac{5}{2}nR, \quad C_p = \frac{7}{2}nR$$

c. **Gas diatomik pada suhu tinggi (dengan energi vibrasi aktif):**

$$C_v = \frac{7}{2}nR, \quad C_p = \frac{9}{2}nR$$

Contoh Soal

Suatu gas ideal monoatomik dengan jumlah $n = 2$ mol dipanaskan secara isobarik pada tekanan $P = 1 \times 10^5$ Pa. Volume gas bertambah dari $V_1 = 0,02 \text{ m}^3$ menjadi $V_2 = 0,05 \text{ m}^3$. Hitunglah usaha luar yang dilakukan gas tersebut!

Pembahasan:

Karena proses isobarik (tekanan tetap), maka usaha luar dapat dihitung dengan:

$$W = P(V_2 - V_1)$$

Substitusi nilai:

$$W = (1 \times 10^5)(0,05 - 0,02)$$

$$W = (1 \times 10^5)(0,03)$$

$$W = 3.000 \text{ J}$$

Jadi, usaha luar yang dilakukan gas pada proses pemuaian isobarik tersebut adalah 3.000 joule.



4. Hukum I Termodinamika

Hukum I Termodinamika berlandaskan pada hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, tetapi hanya dapat berubah bentuk. Misalnya, energi gerak dapat diubah menjadi energi listrik, atau energi listrik berubah menjadi energi kalor.

Dalam termodinamika, hukum ini menjelaskan hubungan antara kalor (Q) yang diterima atau dilepaskan sistem, usaha luar (W) yang dilakukan oleh sistem, dan perubahan energi dalam (ΔU) sistem.

Persamaan hukum I termodinamika dituliskan sebagai:

$$Q = \Delta U + W$$

dengan:

Q = kalor yang diterima oleh gas (J),

ΔU = perubahan energi dalam (J),

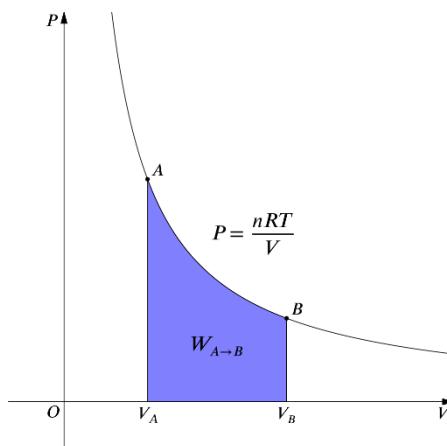
W = usaha luar yang dilakukan sistem (J).

Hubungan Sistem dengan Lingkungan

- Q bernilai positif (+) jika sistem menyerap kalor dari lingkungan, dan bernilai negatif (-) jika melepaskan kalor ke lingkungan.
- W bernilai positif (+) jika sistem melakukan usaha pada lingkungan (ekspansi), dan bernilai negatif (-) jika usaha dilakukan lingkungan pada sistem (kompresi).
- ΔU bernilai positif (+) jika suhu sistem naik (pemanasan), dan bernilai negatif (-) jika suhu sistem turun (pendinginan).

Penerapan Hukum I Termodinamika pada Berbagai Proses

a. Proses Isotermal ($\Delta T = 0$)



Grafik perubahan isotermal – Wikipedia.org

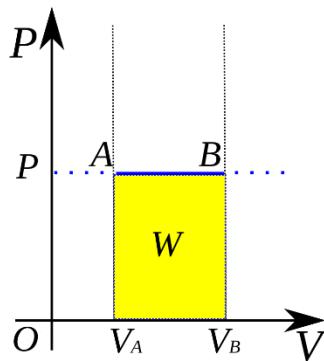
Pada proses isotermal, suhu sistem konstan sehingga energi dalam tidak berubah ($\Delta U = 0$). Maka persamaan menjadi:

$$Q = W$$

dan usaha luar dituliskan sebagai:

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

b. Proses Isobarik ($\Delta P = 0$)



Grafik perubahan isobarik – Wikipedia.org

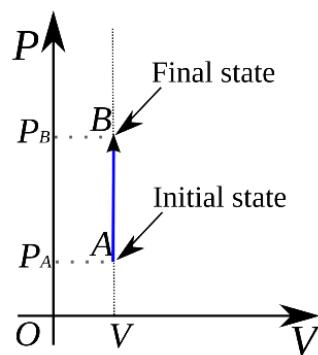
Pada proses ini tekanan tetap, sehingga terjadi perubahan volume dan suhu. Persamaan hukum I menjadi:

$$Q = \Delta U + W$$

$$nC_{p,m}\Delta T = nC_{v,m}\Delta T + P\Delta V$$

$$P\Delta V = n\Delta T(C_{p,m} - C_{v,m})$$

c. Proses Isokhorik ($\Delta V = 0$)



Grafik perubahan isokhorik – Wikipedia.org

Pada proses volume tetap, tidak ada usaha luar ($W = 0$). Sehingga:

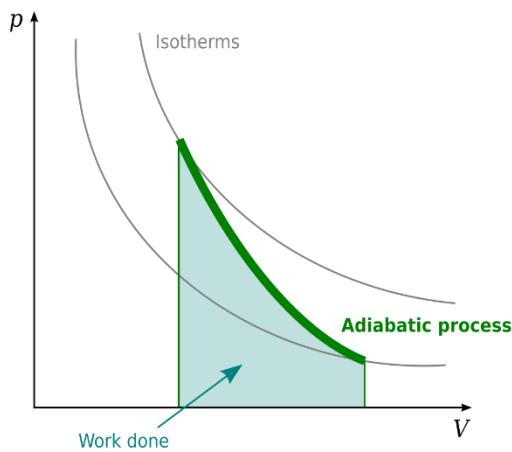
$$Q = \Delta U$$

Dengan energi dalam untuk gas ideal:

$$\Delta U = \frac{f}{2}nR\Delta T$$

dengan f = derajat kebebasan gas.

d. Proses Adiabatik ($Q = 0$)



Grafik perubahan adiabatik – Wikipedia.org

Nilai γ bergantung pada jenis gas:

- 1) Gas monoatomik: $\gamma = \frac{5}{3} \approx 1,67$
- 2) Gas diatomik: $\gamma = \frac{7}{5} \approx 1,40$
- 3) Gas triatomik: $\gamma = \frac{4}{3} \approx 1,33$

Pada proses ini, tidak ada pertukaran kalor dengan lingkungan. Sehingga berlaku:

$$W = -\Delta U$$

Persamaan adiabatik:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

atau

$$T_1 V_1^{(\gamma-1)} = T_2 V_2^{(\gamma-1)}$$

dengan:

$$\gamma = \text{konstanta Laplace} \quad (\gamma = \frac{C_p}{C_v})$$

Contoh Soal

Suatu gas ideal sebanyak $n = 1$ mol dipanaskan secara isothermal pada suhu $T = 300 \text{ K}$. Volume gas bertambah dari $V_1 = 5 \text{ L}$ menjadi $V_2 = 20 \text{ L}$. Hitunglah besar usaha luar yang dilakukan gas tersebut!

(Diketahui $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)

Pembahasan:

Karena proses isothermal ($\Delta T = 0$), maka berlaku:

$$Q = W$$

dan usaha luar gas dihitung dengan:

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Substitusi nilai:

$$W = (1)(8,31)(300) \ln \frac{20}{5}$$

$$W = 2493 \ln 4$$

$$W = 2493 \times 1,386$$

$$W \approx 3.455 \text{ J}$$

Jadi, usaha luar yang dilakukan gas adalah 3.455 joule.



5. Mesin Carnot

Pengertian Siklus

Mesin Carnot adalah model ideal mesin kalor yang menjelaskan bagaimana kalor diubah menjadi usaha secara periodik melalui sebuah siklus termodinamika. Siklus ini terjadi dalam grafik P-V (tekanan-volume).

Misalnya, gas ideal berada pada keadaan awal (1) dengan volume V_1 , tekanan P_1 , dan suhu T_1 . Jika gas dipanaskan secara isothermal, maka gas menyerap kalor Q dan berubah ke keadaan (2) dengan volume V_2 , tekanan P_2 , dan suhu tetap.

Agar dapat bekerja terus-menerus, sistem harus kembali ke keadaan awal. Oleh karena itu, siklus Carnot terdiri dari empat proses:

- 1) Pemuaian isothermal (gas menyerap kalor Q_1 pada suhu tinggi T_1),
- 2) Pemuaian adiabatik (suhu turun dari T_1 ke T_2),
- 3) Pemampatan isothermal (gas melepas kalor Q_2 pada suhu rendah T_2),
- 4) Pemampatan adiabatik (suhu naik kembali ke T_1).

Dengan demikian, sistem kembali ke kondisi semula, membentuk siklus ABCD dalam grafik P-V.

Usaha dan Efisiensi Mesin Carnot

Jumlah usaha luar yang dilakukan sistem dalam satu siklus sama dengan luas kurva pada diagram P-V. Besarnya usaha dituliskan:

$$W = Q_1 - Q_2$$

dengan:

Q_1 = kalor yang diserap mesin pada reservoir suhu tinggi T_1 (J),

Q_2 = kalor yang dilepas mesin ke reservoir suhu rendah T_2 (J),

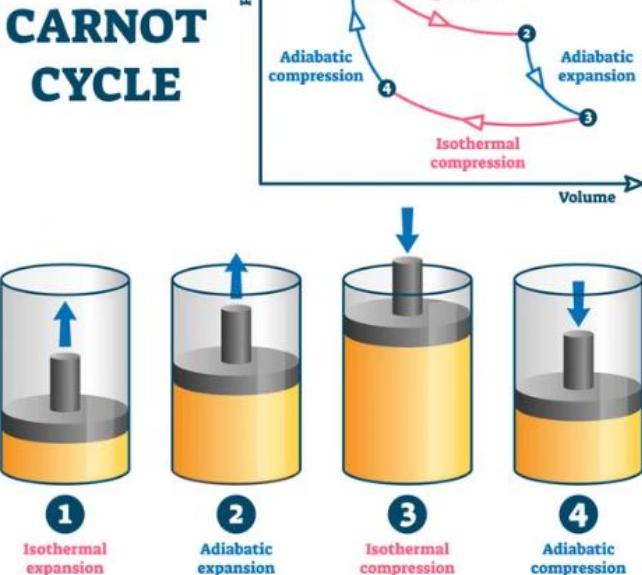
W = usaha luar yang dihasilkan mesin (J).

Efisiensi mesin kalor didefinisikan sebagai perbandingan usaha yang dihasilkan terhadap kalor yang diserap:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\%$$

Substitusi $W = Q_1 - Q_2$:

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$



Ilustrasi vektor siklus Carnot – Shutterstock.com. 1712470699

Efisiensi Mesin Carnot

Untuk mesin Carnot ideal, efisiensi hanya bergantung pada suhu reservoir:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

dengan:

T_1 = suhu reservoir tinggi (K),

T_2 = suhu reservoir rendah (K),

η = efisiensi mesin Carnot.

Selain itu, usaha total yang dihasilkan mesin Carnot dapat dituliskan sebagai:

$$W = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

Prinsip Kerja Mesin Carnot

- 1) Mesin Carnot bekerja dengan cara menyerap kalor Q_1 dari reservoir bersuhu tinggi T_1 .
- 2) Sebagian kalor diubah menjadi usaha mekanik W .
- 3) Sisa kalor Q_2 dilepaskan ke reservoir bersuhu rendah T_2 .
- 4) Setelah itu, sistem kembali ke keadaan semula sehingga siklus bisa berulang.



- Fakta Fisika di Sekitarmu

Mesin Carnot ditemukan oleh Sadi Carnot pada tahun 1824. Hebatnya, saat itu Carnot baru berusia 28 tahun ketika menulis buku berjudul *Reflections on the Motive Power of Fire*, yang menjadikan dia dijuluki sebagai "Bapak Termodinamika".



Sadi Carnot – Wikipedia.org

Contoh Soal

Sebuah mesin Carnot bekerja antara dua reservoir panas. Reservoir tinggi bersuhu $T_1 = 600\text{ K}$ dan reservoir rendah bersuhu $T_2 = 300\text{ K}$. Jika mesin menyerap kalor sebesar $Q_1 = 1200\text{ J}$ dari reservoir panas, hitunglah:

1. Efisiensi mesin Carnot.
2. Usaha luar yang dihasilkan mesin.
3. Kalor yang dibuang ke reservoir rendah.

Pembahasan:

Diketahui:

$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_2 = 300 \text{ K}$$

$$Q_1 = 1200 \text{ J}$$

Rumus efisiensi mesin Carnot:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(1 - \frac{300}{600}\right) \times 100\%$$

$$\eta = (1 - 0,5) \times 100\% = 50\%$$

Maka, usaha luar mesin:

$$W = \eta \cdot Q_1$$

$$W = 0,5 \times 1200 = 600 \text{ J}$$

Kalor yang dibuang ke reservoir rendah:

$$Q_2 = Q_1 - W$$

$$Q_2 = 1200 - 600 = 600 \text{ J}$$

Jadi, efisiensi mesin Carnot adalah 50%, usaha luar yang dihasilkan 600 J, dan kalor yang dibuang 600 J.



6. Hukum II Termodinamika

Hukum II Termodinamika menjelaskan keterbatasan dalam pemanfaatan kalor menjadi kerja (usaha). Walaupun hukum I menyatakan bahwa energi kekal, hukum II menekankan bahwa tidak semua kalor bisa sepenuhnya diubah menjadi energi mekanik. Efisiensi mesin kalor selalu lebih kecil dari 100%.

Efisiensi maksimum sebuah mesin kalor dapat dituliskan sebagai:

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

atau dapat juga ditulis dalam bentuk hubungan suhu reservoir:

$$\eta_{\text{maks}} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

dengan:

η_{maks} = efisiensi maksimum mesin,

T_1 = suhu reservoir tinggi (K),

T_2 = suhu reservoir rendah (K).

Persamaan ini merupakan bentuk matematis dari hukum II termodinamika.

Perumusan Kelvin-Planck

Pernyataan Kelvin-Planck:

Tidak mungkin membuat mesin yang hanya menyerap kalor dari satu reservoir lalu seluruhnya diubah menjadi usaha tanpa membuang kalor ke reservoir lain.

Artinya, selalu ada sebagian kalor yang terbuang ke lingkungan (Q_2). Karena itu, efisiensi 100% tidak pernah bisa tercapai.

Perumusan Clausius

Pernyataan Clausius:

Tidak mungkin membuat mesin pendingin yang hanya memindahkan kalor dari reservoir bersuhu rendah ke reservoir bersuhu tinggi tanpa adanya usaha luar.

Mesin pendingin (kulkas, AC) bekerja dengan cara menyerap kalor Q_2 dari suhu rendah T_2 , kemudian dengan bantuan usaha luar W , kalor dilepas ke suhu tinggi T_1 .

Persamaan matematis untuk kerja mesin pendingin:

$$W = Q_2 \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right)$$

dan efisiensinya:

$$\eta = \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \times 100\%$$

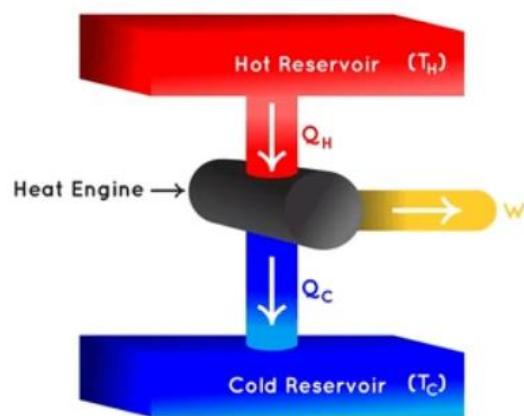


Diagram Hukum II Termodinamika –
Shutterstock.com. 2078074288

Koefisien Performa (Coefficient of Performance, COP)

Koefisien performansi digunakan untuk mengukur kinerja mesin pendingin. Semakin besar nilai koefisien ini, semakin baik kinerja mesin.

Rumus COP adalah:

$$K_p = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Dengan menggunakan persamaan keadaan gas ideal dan hubungan kalor, dapat diperoleh bentuk lain:

$$K_p = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

dengan:

K_p = koefisien performansi,

T_1 = suhu reservoir tinggi (K),

T_2 = suhu reservoir rendah (K),

Q_1 = kalor yang diberikan pada suhu tinggi (J),

Q_2 = kalor yang diserap dari suhu rendah (J).

Contoh Soal

Sebuah mesin Carnot bekerja antara dua reservoir panas. Reservoir tinggi bersuhu $T_1 = 500\text{ K}$, sedangkan reservoir rendah bersuhu $T_2 = 300\text{ K}$. Jika mesin menerima kalor sebesar $Q_1 = 2000\text{ J}$ dari reservoir tinggi, hitunglah:

1. Efisiensi maksimum mesin.
2. Usaha luar yang dihasilkan mesin.
3. Kalor yang dibuang ke reservoir rendah.

Pembahasan:

1. Efisiensi maksimum mesin:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(1 - \frac{300}{500}\right) \times 100\%$$

$$\eta = (1 - 0,6) \times 100\% = 40\%$$

2. Usaha luar mesin:

$$W = \eta \cdot Q_1$$

$$W = 0,4 \times 2000 = 800\text{ J}$$

3. Kalor yang dibuang ke reservoir rendah:

$$Q_2 = Q_1 - W$$

$$Q_2 = 2000 - 800 = 1200 \text{ J}$$

Jadi, efisiensi maksimum mesin adalah 40%, usaha luar yang dihasilkan 800 J, dan kalor yang dibuang 1200 J.

Kegiatan Kelompok

Penerapan Kalor dan Termodinamika dalam Kehidupan Sehari-hari

Tujuan: Menganalisis dan mempresentasikan penerapan prinsip kalor dan termodinamika pada peralatan atau fenomena sehari-hari.

Langkah Kegiatan:

1) Bentuk Kelompok

Siswa dibagi menjadi beberapa kelompok kecil (4–5 orang per kelompok).

2) Amati Fenomena

Perhatikan contoh peralatan rumah tangga atau fenomena di sekitar (misalnya rice cooker, kulkas, setrika listrik, AC, atau termos air panas).

3) Diskusi Kelompok

- ▷ Analisis bagaimana prinsip kalor dan termodinamika bekerja pada alat/fenomena tersebut.
- ▷ Tentukan bagian mana yang berkaitan dengan konduksi, konveksi, radiasi, hukum I termodinamika, atau efisiensi mesin kalor/pendingin.

4) Catat Hasil Analisis

- ▷ Tulis hasil diskusi kelompok dalam bentuk laporan singkat.
- ▷ Gunakan bagan/gambar sederhana untuk menjelaskan mekanisme kerjanya.

5) Presentasi Kreatif

Sajikan hasil analisis kelompok di depan kelas menggunakan media kreatif (misalnya PowerPoint, poster, atau demonstrasi sederhana).



7. Konsep Entropi

Pengertian Entropi

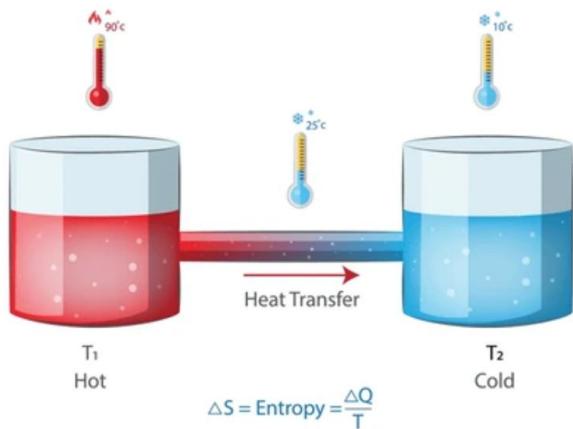
Konsep entropi pertama kali dijelaskan oleh Rudolf Clausius pada tahun 1862. Berdasarkan hukum II termodinamika, jika suatu sistem mengalami perubahan spontan, maka perubahan itu akan berlangsung sedemikian rupa sehingga entropi sistem akan cenderung bertambah atau meningkat dibandingkan keadaan sebelumnya.

Entropi dapat dipahami sebagai ukuran tingkat keteraturan (atau ketidakteraturan) dalam suatu sistem. Semakin besar entropi, semakin acak susunan partikel dalam sistem. Dengan kata lain, entropi memberikan gambaran tentang arah perubahan spontan yaitu, energi cenderung menyebar dari daerah yang lebih teratur (suhu tinggi) ke daerah yang lebih acak (suhu rendah).

Secara sederhana:

- 1) Jika sistem berada dalam kesetimbangan, entropinya tetap.
- 2) Jika sistem mengalami perubahan alami (spontan), entropinya bertambah.

Rumus Entropi



Konsep Entropi – Shutterstock.com. 2500249379

Apabila suatu sistem menyerap kalor Q pada suhu mutlak T , maka perubahan entropi ΔS dapat dituliskan sebagai:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

dengan:

ΔS = perubahan entropi (J/K),

Q = kalor yang diserap (J),

T = suhu mutlak (K).

Rumus ini berlaku untuk proses reversibel (proses yang dapat dibalik) dengan syarat sistem selalu berada pada kesetimbangan termal.

Entropi pada Sistem Terisolasi dan Tidak Terisolasi

a. Sistem Terisolasi

Pada sistem terisolasi (tidak ada interaksi dengan lingkungan), entropi selalu bertambah jika terjadi proses alami.

$$\Delta S > 0$$

Artinya, perubahan entropi positif menunjukkan proses berjalan spontan dan tidak dapat dibalik secara sempurna.

b. Sistem Tidak Terisolasi

Jika sistem berinteraksi dengan lingkungan, perubahan entropi total dituliskan sebagai:

$$\Delta S = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{lingkungan}} > 0$$

Dengan demikian, entropi total (gabungan sistem + lingkungan) selalu bertambah pada setiap proses alami.

Makna Entropi dalam Kehidupan

- 1) Entropi menunjukkan bahwa energi panas selalu mengalir dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah.
- 2) Entropi dapat digunakan untuk mengukur seberapa "efisien" energi digunakan dalam suatu proses.
- 3) Dalam dunia nyata, tidak ada mesin yang bekerja dengan efisiensi 100% karena sebagian energi selalu berubah menjadi bentuk yang kurang berguna (disebarkan ke lingkungan).

Contoh Soal

Sebuah sistem menerima kalor sebesar $Q = 500 \text{ J}$ dari reservoir panas pada suhu mutlak $T = 250 \text{ K}$. Hitunglah perubahan entropi sistem tersebut.

Pembahasan:

Diketahui:

$$Q = 500 \text{ J}$$

$$T = 250 \text{ K}$$

Rumus perubahan entropi:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Substitusi nilai:

$$\Delta S = \frac{500}{250}$$

$$\Delta S = 2 \text{ J/K}$$

Jadi, perubahan entropi sistem adalah 2 J/K .

Rangkuman

1) Pengertian Kalor dan Perubahan Wujud Zat

Kalor adalah energi yang berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah dan dapat menyebabkan perubahan suhu atau wujud zat.

$$Q = mc\Delta T$$

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

2) Perpindahan Kalor

Kalor berpindah melalui tiga cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi melibatkan hantaran partikel, konveksi melibatkan aliran zat, dan radiasi berupa gelombang elektromagnetik.

$$H = \frac{kA\Delta T}{l}$$

$$H = hA\Delta T$$

$$P = e\sigma AT^4$$

3) Usaha Luar dan Kapasitas Kalor

Gas dapat melakukan usaha luar saat mengalami perubahan volume, dan kapasitas kalor menunjukkan banyaknya kalor untuk menaikkan suhu 1 K.

$$W = P\Delta V$$

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$C_p - C_v = nR$$

4) Hukum I Termodinamika

Jumlah kalor yang diterima sistem sama dengan perubahan energi dalam dan usaha luar yang dilakukan sistem.

$$Q = \Delta U + W$$

Proses khusus:

Isotermal: $Q = W$

Isobarik: $Q = \Delta U + W$

Isokhorik: $Q = \Delta U$

Adiabatik: $Q = 0$

5) Mesin Carnot

Mesin Carnot adalah mesin kalor ideal dengan efisiensi maksimum, bekerja melalui proses isotermal dan adiabatik.

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$W = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

6) Hukum II Termodinamika

Tidak ada mesin kalor dengan efisiensi 100%. Rumusan Kelvin-Planck menyatakan mesin tidak dapat mengubah semua kalor menjadi kerja, sedangkan Clausius menyatakan tidak mungkin memindahkan kalor dari dingin ke panas tanpa usaha luar.

$$\eta_{maks} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \times 100\%$$

$$K_p = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

7) Entropi

Entropi adalah ukuran ketidakteraturan dalam sistem. Pada setiap proses spontan, entropi total sistem + lingkungan selalu bertambah.

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{lingkungan} > 0$$

Latihan Soal

1. Jika sebuah benda bermassa 2 kg dengan kalor jenis $c = 4200 \text{ J/kg} \cdot {}^\circ\text{C}$ dipanaskan hingga suhunya naik $10 \text{ }^\circ\text{C}$, berapa kalor yang dibutuhkan?
 - 42.000 J
 - 84.000 J
 - 21.000 J
 - 4.200 J
 - 8.400 J
2. Sebuah batang logam dengan luas penampang $A = 0,01 \text{ m}^2$, panjang $l = 0,5 \text{ m}$, dan koefisien konduktivitas $k = 200 \text{ W/m} \cdot {}^\circ\text{C}$ memiliki perbedaan suhu $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Berapa laju aliran kalor H melalui batang tersebut?
 - 100 W
 - 200 W
 - 400 W
 - 600 W
 - 800 W
3. Gas ideal dengan tekanan $P = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$ mengalami ekspansi dari volume $V_1 = 0,01 \text{ m}^3$ menjadi $V_2 = 0,03 \text{ m}^3$. Hitunglah usaha luar gas.
 - 2000 J
 - 3000 J
 - 4000 J
 - 5000 J
 - 6000 J
4. Suatu gas ideal menerima kalor $Q = 1500 \text{ J}$ dan melakukan usaha $W = 600 \text{ J}$. Tentukan perubahan energi dalam (ΔU) gas tersebut.
 - 600 J
 - 800 J
 - 900 J
 - 1000 J
 - 1200 J
5. Sebuah mesin Carnot bekerja antara reservoir panas $T_1 = 600K$ dan reservoir dingin $T_2 = 300K$. Hitung efisiensi mesin Carnot tersebut.
 - 25%
 - 33%
 - 40%
 - 45%

- E. 50%
6. Mesin Carnot bekerja pada $T_1 = 500K$ dan $T_2 = 250K$. Hitung efisiensi maksimum mesin tersebut.
- A. 25%
- B. 40%
- C. 45%
- D. 50%
- E. 60%
7. Sebuah sistem menyerap kalor $Q = 600 \text{ J}$ pada suhu $T = 300 \text{ K}$. Hitung perubahan entropinya.
- A. 1,5 J/K
- B. 2,0 J/K
- C. 2,5 J/K
- D. 3,0 J/K
- E. 3,5 J/K

Akses latihan soal
lainnya di sini yuk!

Latihan Soal Fisika
Kelas 11 BAB 10



Referensi

- Campbell, J. A., & Heywood, R. B. (2003). *Physics for Senior High School: Heat and Thermodynamics*. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with Applications* (6th ed.). Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). *University Physics with Modern Physics* (14th ed.). Pearson.