

Bagian 1: Rotasi Benda Tegar

Materi ini mencakup konsep momen gaya, momen inersia, hubungan gaya dengan rotasi, Hukum II Newton untuk rotasi, dan energi kinetik rotasi.

Materi A: Momen Gaya (Torsi)

- **Konsep:** Momen gaya (τ - tau) adalah ukuran kecenderungan suatu gaya untuk memutar suatu benda pada porosnya. Ini adalah analogi rotasi dari gaya linear.
- **Rumus:** $\tau = F \cdot r \cdot \sin\theta$ Di mana:
 - τ = momen gaya (Nm)
 - F = besar gaya (N)
 - r = lengan momen (jarak tegak lurus dari titik poros ke garis kerja gaya) (m)
 - θ = sudut antara vektor gaya (F) dan vektor posisi (r) dari poros ke titik tangkap gaya. Jika gaya tegak lurus terhadap lengan momen, $\sin\theta = \sin 90^\circ = 1$.
- **Satuan:** Newton meter (Nm).
- **Arah:** Menggunakan kaidah tangan kanan. Jika momen gaya menyebabkan rotasi berlawanan arah jarum jam, τ positif. Jika searah jarum jam, τ negatif.

Contoh Soal 1.1: Momen Gaya dan Satuan Sebuah batang homogen dengan panjang 2 meter diberikan gaya sebesar 10 N pada salah satu ujungnya, tegak lurus terhadap batang. Jika poros putar berada di ujung lain batang, berapakah momen gaya yang terjadi pada batang tersebut? Sebutkan juga satuan dari besaran momen gaya!

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**
 - Gaya, $F = 10 \text{ N}$
 - Lengan momen (jarak dari poros ke titik tangkap gaya), $r = 2 \text{ m}$ (karena gaya diberikan di ujung dan poros di ujung lain).
 - Sudut, $\theta = 90^\circ$ (karena tegak lurus).
2. **Tuliskan rumus momen gaya:** $\tau = F \cdot r \cdot \sin\theta$
3. **Substitusikan nilai ke dalam rumus:** $\tau = 10 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \cdot \sin 90^\circ$ $\tau = 10 \cdot 2 \cdot 1$ $\tau = 20 \text{ Nm}$
4. **Sebutkan satuan:** Satuan momen gaya adalah Newton meter (Nm).

Jawaban: Momen gaya yang terjadi adalah 20 Nm. Satuan dari besaran momen gaya adalah Newton meter (Nm).

Materi B: Momen Inersia

- **Konsep:** Momen inersia (I) adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi, yaitu ukuran kesulitan benda untuk mengubah keadaan gerak rotasinya (diam menjadi berotasi, atau berotasi menjadi diam/berubah kecepatan). Ini adalah analogi rotasi dari massa linear.

- **Rumus Umum (untuk partikel diskrit):** $I = \sum mr^2$ Di mana:
 - I = momen inersia (kgm^2)
 - m = massa partikel (kg)
 - r = jarak partikel dari poros rotasi (m)
- **Rumus untuk Benda Tegar Beraturan (Contohnya Bola dan Batang Tipis):**
 - **Bola pejal berotasi melalui pusatnya:** $I = \frac{1}{2}MR^2$
 - **Batang tipis berotasi melalui pusatnya:** $I = \frac{1}{12}ML^2$
 - **Batang tipis berotasi melalui ujungnya:** $I = \frac{1}{3}ML^2$ Di mana:
 - M = massa total benda (kg)
 - R = jari-jari bola (m)
 - L = panjang batang (m)

Contoh Soal 1.2: Momen Inersia (Konsep & Batang Tipis) Jelaskan konsep momen inersia pada benda yang berotasi! Kemudian, sebuah batang tipis homogen bermassa 3 kg dan panjang 2 m diputar melalui salah satu ujungnya. Hitunglah besar momen inersia batang tersebut.

Cara Pengerjaan:

1. **Jelaskan konsep momen inersia:**
 - Momen inersia adalah ukuran kecenderungan suatu benda untuk mempertahankan keadaan gerak rotasinya. Semakin besar momen inersia, semakin sulit benda tersebut diubah keadaan rotasinya (dipercepat, diperlambat, atau dihentikan).
 - Ini bergantung pada massa benda dan bagaimana massa tersebut terdistribusi terhadap poros rotasi (jarak massa dari poros).
2. **Identifikasi besaran yang diketahui untuk perhitungan:**
 - Massa batang, $M = 3 \text{ kg}$
 - Panjang batang, $L = 2 \text{ m}$
 - Poros rotasi: Melalui salah satu ujungnya.
3. **Pilih rumus momen inersia yang sesuai:**
 - Untuk batang tipis yang diputar melalui ujungnya, rumusnya adalah $I = \frac{1}{3}ML^2$.
4. **Substitusikan nilai ke dalam rumus:** $I = \frac{1}{3} \cdot 3 \text{ kg} \cdot (2 \text{ m})^2$ $I = \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 4$ $I = 4 \text{ kgm}^2$

Jawaban:

- Konsep momen inersia adalah ukuran kelembaman benda terhadap gerak rotasi. Semakin besar momen inersia, semakin besar resistansi benda untuk mengubah kecepatan sudutnya. Momen inersia bergantung pada massa benda dan distribusi massanya terhadap poros rotasi.
- Momen inersia batang tersebut adalah 4 kgm^2 .

Contoh Soal 1.3: Momen Inersia (Bola Pejal) Sebuah bola pejal bermassa 5 kg dan berjari-jari 20 cm berotasi melalui pusat massanya. Hitunglah besar momen inersia bola tersebut.

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**

- Massa bola, $M = 5 \text{ kg}$
- Jari-jari bola, $R = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$ (ubah ke meter!)
- Poros rotasi: Melalui pusatnya.

2. **Pilih rumus momen inersia yang sesuai:**

- Untuk bola pejal yang berotasi melalui pusatnya, rumusnya adalah $I = \frac{1}{2}MR^2$.

3. **Substitusikan nilai ke dalam rumus:** $I = \frac{1}{2} \cdot 5 \text{ kg} \cdot (0.2 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot (0.04) = 0.10 \text{ kgm}^2$

Jawaban: Momen inersia bola tersebut adalah 0.10 kgm^2 .

Materi C: Hubungan antara Momen Gaya, Momen Inersia, dan Percepatan Sudut (Hukum II Newton untuk Rotasi)

- **Konsep:** Sama seperti gaya menyebabkan percepatan linear, momen gaya menyebabkan percepatan sudut (α). Momen inersia berperan sebagai "massa" dalam gerak rotasi.
- **Rumus:** $\tau_{\text{total}} = I \cdot \alpha$ Di mana:
 - τ_{total} = momen gaya total yang bekerja pada benda (Nm)
 - I = momen inersia benda (kgm^2)
 - α = percepatan sudut (rad/s^2)
- **Hubungan antara Percepatan Sudut dan Selang Waktu:**
 - Percepatan sudut (α) adalah perubahan kecepatan sudut per satuan waktu: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ Di mana:
 - ω_t = kecepatan sudut akhir (rad/s)
 - ω_0 = kecepatan sudut awal (rad/s)
 - Δt = selang waktu (s)

Contoh Soal 1.4: Momen Gaya Total Sebuah roda dengan jari-jari 0.5 m diputar oleh dua gaya. Gaya pertama 20 N searah jarum jam pada pinggir roda. Gaya kedua 15 N berlawanan arah jarum jam pada pinggir roda. Hitunglah besar momen gaya total yang bekerja pada roda tersebut.

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**

- Jari-jari roda, $r = 0.5 \text{ m}$
- Gaya pertama, $F_1 = 20 \text{ N}$ (searah jarum jam \rightarrow momen negatif)

- Gaya kedua, $F_2=15 \text{ N}$ (berlawanan arah jarum jam \rightarrow momen positif)
- Asumsi gaya bekerja tegak lurus ($\sin 90^\circ=1$).

2. **Hitung momen gaya individu:**

- $\tau_1=-F_1 \cdot r=-20 \text{ N} \cdot 0.5 \text{ m}=-10 \text{ Nm}$
- $\tau_2=+F_2 \cdot r=+15 \text{ N} \cdot 0.5 \text{ m}=+7.5 \text{ Nm}$

3. **Hitung momen gaya total:** $\tau_{\text{total}}=\tau_1+\tau_2$ $\tau_{\text{total}}=-10 \text{ Nm}+7.5 \text{ Nm}$ $\tau_{\text{total}}=-2.5 \text{ Nm}$ (Nilai negatif menunjukkan arah rotasi total searah jarum jam)

Jawaban: Besar momen gaya total yang bekerja pada roda tersebut adalah 2.5 Nm (searah jarum jam).

Contoh Soal 1.5: Percepatan Sudut & Selang Waktu (Hukum II Newton Rotasi) Sebuah silinder pejal bermassa 2 kg dan berjari-jari 0.1 m dikenai momen gaya sebesar 0.8 Nm. Jika silinder tersebut awalnya diam, berapa waktu yang dibutuhkan agar kecepatan sudutnya mencapai 40 rad/s? (Momen inersia silinder pejal $I=\frac{1}{2}MR^2$)

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**

- Massa silinder, $M = 2 \text{ kg}$
- Jari-jari silinder, $R = 0.1 \text{ m}$
- Momen gaya, $\tau = 0.8 \text{ Nm}$
- Kecepatan sudut awal, $\omega_0=0 \text{ rad/s}$ (karena awalnya diam)
- Kecepatan sudut akhir, $\omega_t=40 \text{ rad/s}$
- Rumus momen inersia silinder pejal: $I=\frac{1}{2}MR^2$

2. **Hitung momen inersia (I) silinder:** $I=\frac{1}{2}MR^2=\frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (0.1 \text{ m})^2$ $I=1 \cdot (0.01)$ $I=0.01 \text{ kgm}^2$

3. **Hitung percepatan sudut (α) menggunakan Hukum II Newton untuk rotasi:** $\tau=I \cdot \alpha$
 $0.8 \text{ Nm}=0.01 \text{ kgm}^2 \cdot \alpha$ $\alpha=\frac{0.8}{0.01}$ $\alpha=80 \text{ rad/s}^2$

4. **Hitung selang waktu (Δt) menggunakan rumus percepatan sudut:** $\alpha=\frac{\omega_t-\omega_0}{\Delta t}$
 $80 \text{ rad/s}^2=\frac{40 \text{ rad/s}-0 \text{ rad/s}}{\Delta t}$ $80 \cdot \Delta t=40$ $\Delta t=\frac{40}{80}$ $\Delta t=0.5 \text{ s}$

Jawaban: Waktu yang dibutuhkan agar kecepatan sudutnya mencapai 40 rad/s adalah 0.5 detik.

Materi D: Energi Kinetik Rotasi dan Translasi (pada Benda Tegar)

- **Konsep:** Benda tegar yang bergerak bisa mengalami gerak translasi (berpindah tempat) dan gerak rotasi (berputar). Energi kinetik totalnya adalah penjumlahan dari kedua jenis energi kinetik ini.
- **Rumus:**

- **Energi Kinetik Translasi (E_{Kt}):** Energi yang dimiliki benda karena gerak berpindah tempatnya. $E_{Kt}=21mv^2$ Di mana: m = massa (kg), v = kecepatan linear pusat massa (m/s).
- **Energi Kinetik Rotasi (E_{Kr}):** Energi yang dimiliki benda karena gerak berputarnya. $E_{Kr}=21I\omega^2$ Di mana: I = momen inersia (kgm²), ω = kecepatan sudut (rad/s).
- **Energi Kinetik Total (E_{Ktotal}):** $E_{Ktotal}=E_{Kt}+E_{Kr}=21mv^2+21I\omega^2$
- **Hubungan v dan ω :** $v=\omega R$ (untuk titik di pinggir benda yang berotasi atau untuk kecepatan linear pusat massa jika benda menggelinding tanpa slip, di mana R adalah jari-jari).

Contoh Soal 1.6: Energi Kinetik Total (Silinder Pejal) Sebuah silinder pejal bermassa 4 kg dan berjari-jari 0.2 m menggelinding tanpa slip dengan kecepatan linear pusat massa 5 m/s. Hitunglah besar energi kinetik total silinder tersebut. (Momen inersia silinder pejal $I=\frac{1}{2}MR^2$)

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**
 - Massa silinder, $M = 4$ kg
 - Jari-jari silinder, $R = 0.2$ m
 - Kecepatan linear pusat massa, $v = 5$ m/s
 - Rumus momen inersia silinder pejal: $I=\frac{1}{2}MR^2$
2. **Hitung momen inersia (I) silinder:** $I=\frac{1}{2}MR^2=\frac{1}{2}\cdot 4\text{ kg}\cdot(0.2\text{ m})^2 I=\frac{1}{2}\cdot(0.04) I=0.08\text{ kgm}^2$
3. **Hitung kecepatan sudut (ω) dari kecepatan linear:** $v=\omega R\Rightarrow\omega=Rv \omega=0.2\text{ m}5\text{ m/s}=25\text{ rad/s}$
4. **Hitung Energi Kinetik Translasi (E_{Kt}):** $E_{Kt}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\cdot 4\text{ kg}\cdot(5\text{ m/s})^2 E_{Kt}=\frac{1}{2}\cdot 25 E_{Kt}=50\text{ J}$
5. **Hitung Energi Kinetik Rotasi (E_{Kr}):** $E_{Kr}=\frac{1}{2}I\omega^2=\frac{1}{2}\cdot 0.08\text{ kgm}^2\cdot(25\text{ rad/s})^2 E_{Kr}=\frac{1}{2}\cdot 0.08\cdot 625 E_{Kr}=0.04\cdot 625 E_{Kr}=25\text{ J}$
6. **Hitung Energi Kinetik Total (E_{Ktotal}):** $E_{Ktotal}=E_{Kt}+E_{Kr}=50\text{ J}+25\text{ J} E_{Ktotal}=75\text{ J}$

Jawaban: Besar energi kinetik total silinder tersebut adalah 75 Joule.

Bagian 2: Suhu dan Kalor

Materi ini mencakup konsep suhu, alat ukur, konversi satuan, perhitungan kalor, dan pemuaian.

Materi A: Suhu dan Konversinya

- **Definisi Suhu:** Suhu adalah ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda. Suhu juga menunjukkan energi kinetik rata-rata partikel-partikel penyusun benda.
- **Alat Ukur Suhu:** Termometer (raksa, alkohol, digital, pirometer, dll.).
- **Skala Suhu (dan Titik Acuan):**
 - **Celcius (°C):** Titik beku air 0°C, titik didih air 100°C.
 - **Reamur (°R):** Titik beku air 0°R, titik didih air 80°R.

- **Fahrenheit (°F):** Titik beku air 32°F, titik didih air 212°F.
- **Kelvin (K):** Titik beku air 273.15 K, titik didih air 373.15 K. (Skala absolut, 0 K = nol mutlak).
- **Hubungan dan Konversi Antar Skala:** $5C=4R=9F-32=5K-273$

Contoh Soal 2.1: Pengertian Suhu & Alat Ukur Jelaskan pengertian suhu! Sebutkan 2 alat ukur yang sesuai untuk mengukur suhu dan mengapa termometer raksa sering digunakan!

Cara Pengerjaan:

1. **Jelaskan pengertian suhu:**
 - Suhu adalah ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda. Secara mikroskopis, suhu berkaitan dengan energi kinetik rata-rata partikel-partikel penyusun suatu zat. Semakin tinggi energi kinetik rata-rata, semakin tinggi suhunya.
2. **Sebutkan 2 alat ukur suhu:**
 - Termometer Raksa, Termometer Alkohol, Termometer Digital.
3. **Jelaskan mengapa termometer raksa sering digunakan:**
 - Raksa memiliki titik didih yang tinggi (357°C) dan titik beku yang rendah (-38°C), sehingga rentang pengukurannya luas.
 - Raksa tidak membasahi dinding kaca.
 - Raksa mudah terlihat karena mengkilap.
 - Raksa memiliki kalor jenis yang kecil, sehingga peka terhadap perubahan suhu.
 - Raksa memuai secara teratur.

Jawaban:

- Suhu adalah ukuran derajat panas atau dingin suatu benda yang berhubungan dengan energi kinetik rata-rata partikel penyusunnya.
- Dua alat ukur suhu yang sesuai adalah Termometer Raksa dan Termometer Alkohol (atau Termometer Digital).
- Termometer raksa sering digunakan karena memiliki rentang ukur yang luas, tidak membasahi dinding kaca, mudah terlihat, dan memuai secara teratur.

Contoh Soal 2.2: Konversi Satuan Suhu Suhu suatu benda menunjukkan 40°C. Berapakah nilai suhu tersebut jika diukur dalam skala Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin?

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi suhu yang diketahui:** $C=40^{\circ}C$.
2. **Gunakan rumus konversi:** $5C=4R=9F-32=5K-273$
3. **Konversi ke Reamur (R):** $4R=5C \Rightarrow R=5/4C$ $R=5/4 \cdot 40=5 \cdot 8=40^{\circ}R$
4. **Konversi ke Fahrenheit (F):** $9F-32=5C \Rightarrow F-32=5/9C$ $F=5/9 \cdot 40+32=9 \cdot 8+32=72+32=104^{\circ}F$

5. **Konversi ke Kelvin (K):** $K = C + 273.15$ (sering dibulatkan menjadi 273) $K = 40 + 273 = 313 \text{ K}$

Jawaban:

- $40^\circ\text{C} = 32^\circ\text{R}$
- $40^\circ\text{C} = 104^\circ\text{F}$
- $40^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$

Contoh Soal 2.3: Menghitung Suhu dari Skala yang Belum Diketahui Pada termometer X, titik beku air adalah 10°X dan titik didih air adalah 130°X . Jika suatu benda memiliki suhu 50°C , berapakah suhu benda tersebut jika diukur menggunakan termometer X?

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi titik acuan untuk termometer X dan Celcius:**
 - Termometer X: Titik beku (X_b) = 10°X , Titik didih (X_d) = 130°X .
 - Termometer Celcius: Titik beku (C_b) = 0°C , Titik didih (C_d) = 100°C .
2. **Gunakan rumus perbandingan skala suhu:** $X_d - X_b : X - X_b = C_d - C_b : C - C_b$
3. **Substitusikan nilai yang diketahui:** $130 - 10 : X - 10 = 100 - 0 : 50 - 0$
 $120 : X - 10 = 100 : 50$
 $120 : X - 10 = 2 : 1$
4. **Selesaikan persamaan untuk X:** $2(X - 10) = 120$
 $2X - 20 = 120$
 $2X = 140$
 $X = 70^\circ\text{X}$

Jawaban: Suhu benda tersebut jika diukur menggunakan termometer X adalah 70°X .

Materi B: Kalor

- **Definisi Kalor:** Kalor adalah energi panas yang berpindah dari benda bersuhu lebih tinggi ke benda bersuhu lebih rendah. Kalor bukan sifat yang dimiliki benda, melainkan bentuk energi yang berpindah.
- **Rumus Perhitungan Kalor:**
 - **Perubahan suhu (tidak ada perubahan wujud):** $Q = mc\Delta T$ Di mana:
 - Q = kalor yang diterima/dilepas (Joule atau kalori)
 - m = massa benda (kg atau g)
 - c = kalor jenis benda ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$ atau $\text{kal/g}^\circ\text{C}$)
 - ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$ atau K)
 - **Perubahan wujud (pada titik lebur/beku atau titik didih/embun):** $Q = mL$ (untuk melebur/membeku) $Q = mU$ (untuk menguap/mengembun) Di mana:
 - L = kalor lebur/beku (J/kg atau kal/g)
 - U = kalor uap/embun (J/kg atau kal/g)
- **Kapasitas Kalor (C):** Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu seluruh benda sebesar 1°C . $C = mc$ atau $C = \Delta TQ$

Contoh Soal 2.4: Konsep Kalor Jelaskan konsep kalor dengan baik dan benar!

Cara Pengerjaan:

1. **Definisikan kalor:** Kalor adalah bentuk energi yang berpindah.
2. **Jelaskan arah perpindahannya:** Kalor selalu berpindah dari benda/sistem yang memiliki suhu lebih tinggi ke benda/sistem yang memiliki suhu lebih rendah.
3. **Bedakan kalor dengan suhu:** Kalor adalah energi yang berpindah, sedangkan suhu adalah ukuran derajat panas/dingin benda.

Jawaban: Kalor adalah energi panas yang berpindah dari suatu zat atau sistem ke zat atau sistem lain karena adanya perbedaan suhu. Kalor berpindah dari benda bersuhu lebih tinggi ke benda bersuhu lebih rendah. Penting untuk diingat bahwa kalor bukan sifat yang dimiliki oleh benda, melainkan energi yang sedang dalam perjalanan atau berpindah.

Contoh Soal 2.5: Menghitung Kalor, Kalor Jenis, Kapasitas Kalor & Perubahan Suhu Untuk menaikkan suhu 2 kg air dari 20°C menjadi 80°C, diperlukan kalor sebesar 504 kJ. a. Berapakah kalor jenis air tersebut? b. Berapakah kapasitas kalor air tersebut?

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**
 - Massa air, $m = 2 \text{ kg}$
 - Suhu awal, $T_1 = 20^\circ\text{C}$
 - Suhu akhir, $T_2 = 80^\circ\text{C}$
 - Kalor, $Q = 504 \text{ kJ} = 504.000 \text{ J}$ (ubah ke Joule!)
2. **Hitung perubahan suhu (ΔT):** $\Delta T = T_2 - T_1 = 80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$
3. **a. Hitung kalor jenis (c):** $Q = mc\Delta T \Rightarrow c = \frac{Q}{m\Delta T}$
 $c = \frac{504.000 \text{ J}}{2 \text{ kg} \cdot 60^\circ\text{C}} = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
4. **b. Hitung kapasitas kalor (C):** $C = mc$ atau $C = \frac{Q}{\Delta T}$ Menggunakan $C = mc$:
 $C = 2 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C} = 8400 \text{ J/}^\circ\text{C}$ Atau menggunakan $C = \frac{Q}{\Delta T}$: $C = \frac{504.000 \text{ J}}{60^\circ\text{C}} = 8400 \text{ J/}^\circ\text{C}$

Jawaban: a. Kalor jenis air tersebut adalah 4200 J/kg°C. b. Kapasitas kalor air tersebut adalah 8400 J/°C.

Contoh Soal 2.6: Menghitung Kalor dari Grafik Kalor Perhatikan grafik pemanasan es di bawah ini (tidak bisa saya gambar, jadi saya akan jelaskan). Grafik menunjukkan proses pemanasan es dari suhu -10°C menjadi uap pada 110°C.

- Bagian A-B: Es pada suhu -10°C menjadi Es pada 0°C.
- Bagian B-C: Es melebur menjadi air pada 0°C.
- Bagian C-D: Air pada 0°C menjadi Air pada 100°C.
- Bagian D-E: Air menguap menjadi uap air pada 100°C.
- Bagian E-F: Uap air pada 100°C menjadi uap air pada 110°C.

Jika massa es adalah 100 g, kalor jenis es $c_{es}=2100 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, kalor lebur es $L_{es}=336.000 \text{ J/kg}$, kalor jenis air cair $c_{air}=4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, dan kalor uap air $U_{air}=2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$. Hitung total kalor yang dibutuhkan.

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi massa dan konstanta:**

- $m = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg}$
- $c_{es}=2100 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- $L_{es}=336.000 \text{ J/kg}$
- $c_{air}=4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- $U_{air}=2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$

2. **Hitung kalor pada setiap tahap:**

- **Q1 (A-B): Pemanasan es:** $Q_1=m \cdot c_{es} \cdot \Delta T_{es}$ $\Delta T_{es}=0^\circ\text{C}-(-10^\circ\text{C})=10^\circ\text{C}$ $Q_1=0.1 \text{ kg} \cdot 2100 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot 10^\circ\text{C}=2100 \text{ J}$
- **Q2 (B-C): Peleburan es:** $Q_2=m \cdot L_{es}$ $Q_2=0.1 \text{ kg} \cdot 336.000 \text{ J/kg}=33.600 \text{ J}$
- **Q3 (C-D): Pemanasan air:** $Q_3=m \cdot c_{air} \cdot \Delta T_{air}$ $\Delta T_{air}=100^\circ\text{C}-0^\circ\text{C}=100^\circ\text{C}$ $Q_3=0.1 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot 100^\circ\text{C}=42.000 \text{ J}$
- **Q4 (D-E): Penguapan air:** $Q_4=m \cdot U_{air}$ $Q_4=0.1 \text{ kg} \cdot 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}=226.000 \text{ J}$
- **Q5 (E-F): Pemanasan uap air:** $Q_5=m \cdot c_{uap} \cdot \Delta T_{uap}$ (asumsi c_{uap} sama dengan c_{air} jika tidak diketahui, atau gunakan c_{uap} yang spesifik, misalnya $c_{uap} \approx 2010 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$). Jika tidak disebutkan, bisa diasumsikan tidak dihitung atau diberikan nilai. Misal kita pakai $c_{uap}=2010 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$. $\Delta T_{uap}=110^\circ\text{C}-100^\circ\text{C}=10^\circ\text{C}$ $Q_5=0.1 \text{ kg} \cdot 2010 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot 10^\circ\text{C}=2010 \text{ J}$ (Catatan: Seringkali, soal tidak sampai tahap uap air dipanaskan, atau kalor jenis uap air disebutkan. Jika tidak disebutkan, Anda bisa bertanya atau berasumsi sampai tahap D-E saja).

3. **Hitung total kalor (Q_{total}):** $Q_{total}=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5$ $Q_{total}=2100+33.600+42.000+226.000+2010$ $Q_{total}=305.710 \text{ J}$

Jawaban: Total kalor yang dibutuhkan adalah 305.710 J (atau 305.71 kJ).

Materi C: Pemuaian

- **Definisi Pemuaian:** Peristiwa bertambahnya ukuran suatu benda akibat kenaikan suhu.
- **Jenis Pemuaian:**
 - **Pemuaian Panjang (pada zat padat):** $\Delta L=L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$ $L_t=L_0(1+\alpha \cdot \Delta T)$ Di mana: L_0 = panjang awal, L_t = panjang akhir, α = koefisien muai panjang.
 - **Pemuaian Luas (pada zat padat):** $\Delta A=A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$ $A_t=A_0(1+\beta \cdot \Delta T)$ Di mana: A_0 = luas awal, A_t = luas akhir, β = koefisien muai luas ($\beta=2\alpha$).

- **Pemuaian Volume (pada zat padat, cair, dan gas):** $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$ $V_t = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta T)$ Di mana: V_0 = volume awal, V_t = volume akhir, γ = koefisien muai volume ($\gamma = 3\alpha$ untuk padat; untuk cairan dan gas, γ adalah nilai spesifik).

Contoh Soal 2.7: Pemuaian Panjang Sebuah batang logam panjangnya 100 cm pada suhu 20°C. Jika koefisien muai panjang logam tersebut adalah $2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, berapakah panjang batang pada suhu 70°C?

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**

- Panjang awal, $L_0 = 100$ cm
- Suhu awal, $T_0 = 20^\circ\text{C}$
- Suhu akhir, $T_t = 70^\circ\text{C}$
- Koefisien muai panjang, $\alpha = 2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

2. **Hitung perubahan suhu (ΔT):** $\Delta T = T_t - T_0 = 70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$

3. **Hitung pertambahan panjang (ΔL):** $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$ $\Delta L = 100 \text{ cm} \cdot (2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}) \cdot 50^\circ\text{C}$
 $\Delta L = 100 \cdot 100 \times 10^{-5}$ $\Delta L = 10.000 \times 10^{-5}$ $\Delta L = 0.1 \text{ cm}$

4. **Hitung panjang akhir (L_t):** $L_t = L_0 + \Delta L$ $L_t = 100 \text{ cm} + 0.1 \text{ cm}$ $L_t = 100.1 \text{ cm}$ Atau langsung menggunakan $L_t = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$: $L_t = 100(1 + (2 \times 10^{-5}) \cdot 50)$ $L_t = 100(1 + 100 \times 10^{-5})$ $L_t = 100(1 + 0.001)$ $L_t = 100(1.001)$ $L_t = 100.1 \text{ cm}$

Jawaban: Panjang batang pada suhu 70°C adalah 100.1 cm.

Contoh Soal 2.8: Pemuaian Volume (Zat Cair) Sebuah bejana kaca diisi penuh dengan 2 liter alkohol pada suhu 20°C. Jika alkohol dipanaskan hingga 70°C dan koefisien muai volume alkohol adalah $1.1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$, berapakah volume alkohol yang tumpah? (Asumsikan pemuaian bejana kaca diabaikan)

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**

- Volume awal alkohol, $V_0 = 2$ L
- Suhu awal, $T_0 = 20^\circ\text{C}$
- Suhu akhir, $T_t = 70^\circ\text{C}$
- Koefisien muai volume alkohol, $\gamma_{\text{alkohol}} = 1.1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$

2. **Hitung perubahan suhu (ΔT):** $\Delta T = T_t - T_0 = 70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$

3. **Hitung pertambahan volume (ΔV) alkohol:** Ini adalah volume yang tumpah karena bejana penuh. $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$ $\Delta V = 2 \text{ L} \cdot (1.1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}) \cdot 50^\circ\text{C}$ $\Delta V = 2 \cdot 50 \cdot 1.1 \times 10^{-3}$ $\Delta V = 100 \cdot 1.1 \times 10^{-3}$ $\Delta V = 110 \times 10^{-3} \text{ L}$ $\Delta V = 0.11 \text{ L}$

Jawaban: Volume alkohol yang tumpah adalah 0.11 Liter.

Materi D: Perpindahan Kalor

- **Definisi Perpindahan Kalor:** Proses berpindahnya energi panas dari satu tempat ke tempat lain akibat perbedaan suhu.
- **Jenis Perpindahan Kalor:**
 1. **Konduksi (Hantaran):** Perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan partikel zat perantara tersebut. Terjadi pada zat padat.
 - **Rumus:** $Q = LkA\Delta Tt$ atau $H = tQ = LkA\Delta T$ Di mana:
 - H = laju aliran kalor (J/s atau Watt)
 - k = konduktivitas termal bahan ($W/m^{\circ}C$)
 - A = luas penampang (m^2)
 - ΔT = perbedaan suhu antara dua ujung/permukaan ($^{\circ}C$)
 - L = panjang/tebal benda (m)
 2. **Konveksi (Aliran):** Perpindahan kalor melalui zat perantara disertai perpindahan partikel zat perantara tersebut. Terjadi pada zat cair dan gas.
 - **Rumus:** $Q = hA\Delta Tt$ atau $H = tQ = hA\Delta T$ Di mana:
 - h = koefisien konveksi ($W/m^2^{\circ}C$)
 - A = luas permukaan kontak (m^2)
 - ΔT = perbedaan suhu antara permukaan dan fluida ($^{\circ}C$)
 3. **Radiasi (Pancaran):** Perpindahan kalor tanpa memerlukan zat perantara (melalui gelombang elektromagnetik).
 - **Rumus (Hukum Stefan-Boltzmann):** $Q = e\sigma AT^4t$ atau $P = tQ = e\sigma AT^4$ Di mana:
 - P = daya radiasi (Watt)
 - e = emisivitas benda ($0 < e < 1$; $e=1$ untuk benda hitam sempurna)
 - σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)
 - A = luas permukaan benda (m^2)
 - T = suhu mutlak benda (Kelvin)

Contoh Soal 2.9: Definisi Perpindahan Kalor Jelaskan definisi dari perpindahan kalor!

Cara Pengerjaan:

1. **Definisikan perpindahan kalor:** Proses transfer energi.
2. **Sebutkan pemicu:** Karena adanya perbedaan suhu.
3. **Sebutkan arah:** Dari suhu tinggi ke suhu rendah.

Jawaban: Perpindahan kalor adalah proses transfer atau berpindahnya energi termal (panas) dari suatu benda atau sistem ke benda atau sistem lain yang memiliki suhu lebih rendah, terjadi sampai kesetimbangan termal tercapai.

Contoh Soal 2.10: Perhitungan Kalor pada Perpindahan Kalor (Konduksi) Sebuah jendela kaca memiliki luas 0.5 m^2 dan tebal 0.5 cm . Jika suhu permukaan dalam kaca 25°C dan suhu permukaan luar 15°C , serta konduktivitas termal kaca adalah $0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, berapakah laju aliran kalor yang melalui jendela tersebut?

Cara Pengerjaan:

1. **Identifikasi besaran yang diketahui:**

- Luas penampang, $A = 0.5 \text{ m}^2$
- Tebal kaca, $L = 0.5 \text{ cm} = 0.005 \text{ m}$ (ubah ke meter!)
- Suhu dalam, $T_1 = 25^\circ\text{C}$
- Suhu luar, $T_2 = 15^\circ\text{C}$
- Konduktivitas termal, $k = 0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

2. **Hitung perubahan suhu (ΔT):** $\Delta T = T_1 - T_2 = 25^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$

3. **Gunakan rumus laju aliran kalor konduksi:** $H = LkA\Delta T$

4. **Substitusikan nilai ke dalam rumus:** $H = 0.005 \text{ m} \cdot 0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C} \cdot 0.5 \text{ m}^2 \cdot 10^\circ\text{C}$ $H = 0.0054$ $H = 800 \text{ W}$ (atau J/s)

Jawaban: Laju aliran kalor yang melalui jendela tersebut adalah 800 Watt (atau 800 J/s).