



## **MODUL FISIKA I**

**UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN**  
**Fakultas Teknik dan Komputer**  
**2021**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan karunia dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan modul ajar mata kuliah Fisika I ini.

Modul ajar ini disusun dalam rangka penerapan Tri Darma Perguruan Tinggi. Untuk memperoleh sumber daya manusia yang berkualitas, diperlukan dukungan sistem pendidikan dan pengajaran yang relevan. Salah satu komponen penting dalam sistem pendidikan tersebut adalah Standar Kompetensi yang dikembangkan bersama dalam bentuk pengembangan dan pembuatan buku ajar yang relevan untuk mendukung kompetensi yang telah terstandar yang sesuai dengan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) yang telah dibuat terlebih dahulu.

Modul ajar ini dipersiapkan untuk membantu mahasiswa dan dosen dalam proses pembelajaran mata kuliah Fisika I pada **Program Studi T.Mesin Universitas Harapan Medan**.

Penulis menyadari dalam penyusunan modul ajar ini masih memiliki kekurangan dan berharap modul ajar ini selalu dikaji dan dikembangkan melalui sumbang saran dan koreksi agar dapat menyesuaikan dengan tuntutan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Akhirnya, semoga modul ajar ini bermanfaat bagi semua yang membutuhkan.

Medan, Oktober 2022

Penulis

( **Dra. Herlina Harahap, M.Si** )

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN	1
II. BESARAN DAN SATUAN DALAM SI	3
2.1 Besaran dan Satuan dalam SI	3
2.2 Konversi Satuan	5
2.3 Vektor	5
2.4 Penjumlahan Vektor	6
BAB III KINEMATIKA	11
3.1. Kinematika	11
3.1.1 Perpindahan (Perubahan Posisi), $x(m)$	11
3.1.2. Kecepatan (velocity), $v (m/s)$	12
3.1.3. Percepatan (acceleration), $a (m/s^2)$	13
3.1.4. Gerak Dengan Percepatan Konstan	14
3.1.5. Gerak Vertikal	17
3.1.6. Gerak Dalam 2 Dimensi	18
IV. DINAMIKA	27
4.1. Hukum Inersia/ Kelembaman ( Hukum Newton I )	27
4.2. Momentum, $p (kg m/s)$	28
4.3. Gaya dan Hukum Newton II	30
4.4. Aksi – Reaksi ( Hukum Newton III )	31
4.5. Kerja Dan Energi	33
4.5.1. Kerja /Usaha, $W (Nm)$	33
4.5.2. Energi	35

V. GERAK ROTASI	44
5.1. Kinematika Rotasi	44
5.1.1 Perpindahan Rotasi Sudut, $\theta$	44
5.1.2. Kecepatan Sudut, $\omega$ ( rad/s)	45
5.1.3 Percepatan sudut, $\alpha$ ( rad/s <sup>2</sup> )	46
5.2 Gerak Rotasi dengan Percepatan Sudut Konstan (GRBB)	47
5.3 Hubungan Gerak Rotasi Dengan Gerak Translasi	48
5.4. Dinamika Rotasi	52
5.5. Penerapan Fisika Untuk Gaya Sentripetal	57
5.6. Torsi (Torka)	63
5.7. Momen Inersia	66
5.8. Energi Kinetik Rotasi	69
VI. FLUIDA	75
6.1 Hidrostatika	76
6.1.1. Kerapatan Dan Berat Jenis	76
6.1.2. Tekanan Dalam Fluida	76
6.1.3. Prinsip Pascal	79
6.1.4. Gaya Apung Dan Prinsip Archimedes	80
6.2 Hidrodinamika	85
6.2.1 Laju Aliran Massa dan Persamaan Kontinuitas	85
6.2.2 Persamaan Bernoulli	87
VII KALOR	92
7.1. Keseimbangan Termal	92
7.2. Ekspansi Termal	93
7.2.1 Ekspansi Linier	93

7.2.2. Ekspansi Luas	95
7.2.3. Ekspansi Volume	96
7.3. Jumlah Kalor Dan Kalor Spesifik	98
7.4. Prinsip Kalorimetri	98
7.5. Kalor Laten	100
7.6. Transfer Kalor	103
7.6.1. Konduksi	103
7.6.2. Konveksi	104
7.6.3. Radiasi	105

## I. PENDAHULUAN

### A. Deskripsi Mata Kuliah

Fisika I adalah mata kuliah fisika bidang: **1. Mekanika** merupakan konsep kinematika, dinamika, kerja-energi dan gerak rotasi, **2. Fluida** merupakan konsep hidrostatis dan hidrodinamika, **3. Kalor (Panas)** merupakan konsep pengertian kalor dan temperatur, kesetimbangan thermal, ekspansi thermal, jumlah kalor dan kalor spesifik, kalor laten dan transfer kalor yang bermanfaat dalam bidang ilmu teknik mesin dan dalam **kehidupan berbangsa dan bernegara**.

Untuk mencapai tujuan dari isi materi mata kuliah Fisika I digunakan **metode pembelajaran** tatap muka langsung dan tidak langsung (daring), *problem solving*, *problem based learning*, *discovery learning*, *small group discussion*, dan simulasi.

**Penilaian** (evaluasi) terdiri dari empat komponen yaitu:

1. **UTS = 30%**
2. **UAS = 30%**
3. **Tugas/Kuis = 30%**
4. **Kehadiran = 10%**

### B. Capaian Pembelajaran Mata Kuliah

1. Mahasiswa mampu menjelaskan dan menganalisa konsep mekanika, fluida dan kalor dalam bidang ilmu teknik mesin
2. Mahasiswa mempunyai kemampuan berkomunikasi, kemampuan mengambil keputusan dan kemampuan memecahkan masalah-masalah teknik
3. Mahasiswa mampu mengumpulkan, mengolah data dan menginterpretasikan hasilnya secara logis dan sistematis
4. Mampu menerapkan pemikiran logis, inovatif, kritis, sistematis dan inovatif dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang sesuai dengan bidang keahliannya
5. Mampu mengaplikasikan pengetahuan dibidang matematika, sains dan teknik

### **C. Sub Capaian Pembelajaran Mata Kuliah**

1. Mampu menjelaskan konsep gerak lurus berubah beraturan, gerak lurus berubah tidak beraturan dan gerak lurus beraturan.
2. Mampu menjelaskan konsep dinamika, hukum Newton, hukum kekekalan momentum, konsep teorema kerja-energi dan hukum kekekalan energi.
3. Mampu menjelaskan dan menganalisa gerak rotasi yang meliputi kinematika rotasi, dinamika rotasi, torsi dan momen inersia dan energi kinetik yang diperlukan ketika benda yang berotasi.
4. Mampu menjelaskan sifat-sifat/ Hidrostatika dan mampu menganalisa penerapan fisiknya.
5. Mampu menjelaskan sifat-sifat Hidrodinamika dan mampu menganalisa penerapan fisiknya.
6. Mampu menjelaskan efek yang timbul akibat adanya transfer kalor berupa ekspansi thermal.
7. Mampu menjelaskan konsep Azas Black.
8. Mampu menjelaskan terjadinya perubahan fase suatu benda akibat adanya transfer kalor
9. Mampu menjelaskan konsep perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi

## II. BESARAN DAN SATUAN DALAM SI

Fisika adalah ilmu pengetahuan yang paling mendasar (*basic science*) karena berhubungan dengan perilaku dan struktur benda yang merupakan gejala-gejala alam dan interaksi yang ditimbulkannya, yang menghasilkan besaran dan satuan.

Bidang fisika biasanya dibagi menjadi gerak, fluida, panas, suara, cahaya, listrik dan magnet yang biasanya diklasifikasikan dalam mata kuliah Fisika Dasar. Dan topik-topik modern seperti: relativitas, struktur atom, fisika zat padat, fisika nuklir, partikel elementer, dan astrofisika.

Dalam modul ajar ini akan membahas Fisika Dasar dengan topik gerak atau mekanika. Sebelum dimulai dengan fisika mekanika itu sendiri, sedikit akan dibahas bagaimana aktivitas yang disebut "sains". Tujuan utama semua sains termasuk fisika, umumnya merupakan usaha kreatif untuk mencari keteraturan dalam pengamatan manusia pada alam sekitarnya. Fisika bukan hanya merupakan sekelompok fakta. Teori-teori yang penting dibuat dengan tujuan untuk menjelaskan pengamatan. Untuk dapat diterima, teori "diuji" dengan membandingkan prediksinya dengan hasil eksperimen yang sebenarnya dan kemudian dibuat model yang berupa hukum-hukum dan persamaan yang secara kuantitatif mendeskripsikan sekelompok fenomena yang meliputi kasus-kasus yang luas, yang akhirnya dinyatakan sebagai besaran.

Pengukuran memainkan peranan penting dalam fisika, tetapi tidak akan pernah tepat secara sempurna, ada nilai ketidakpastian suatu pengukuran. Besaran-besaran yang dihasilkan karena gejala-gejala alam tersebut dinyatakan relatif terhadap suatu standar atau satuan tertentu. Satuan yang diterima secara umum saat ini adalah *Systeme International* (SI).

### 2.1 Besaran dan Satuan dalam SI

Adapun tujuan pembelajaran dari materi kuliah ini adalah:

- a. Agar mahasiswa mengetahui besaran-besaran yang termasuk kedalam besaran vektor dan skalar.
- b. Agar mahasiswa mampu mengkonversi satuan dalam sistem mks dan cgs.
- c. Agar mahasiswa mampu menganalisa besaran yang memiliki arah berdasarkan sistem koordinat.

Pembentuk utama fisika adalah besaran-besaran fisis yang digunakan untuk menyatakan hukum-hukum fisika. Dalam mendefinisikan suatu besaran dalam fisika haruslah terkandung kaidah menghitung besaran yang bersangkutan berdasarkan besaran-besaran yang lain yang dapat diukur. Besaran-besaran tersebut terbagi dua yaitu: besaran pokok (dasar) dan besaran turunan.

Berdasarkan arah besaran pokok dan turunan terbagi dua yaitu besaran vektor dan besaran skalar.

1. Besaran vektor adalah besaran yang mempunyai besar dan arah
2. Besaran skalar adalah besaran yang hanya mempunyai besar tetapi tidak mempunyai arah.

Sistem Satuan terbagi dua yaitu :

1. sistem mks (meter koligram sekon)
2. sistem cgs (centimeter gram sekon)

Berdasarkan hasil-hasil pertemuan dan hasil-hasil panitia internasional menetapkan tujuh (7) besaran sebagai besaran pokok (dasar). Ketujuh besaran tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. dan merupakan dasar bagi Sistem Satuan International (SI).

Tabel 2.1. Besaran dan Satuan Pokok (dasar) SI

Besaran	Satuan	Simbol Satuan
Panjang	meter	m
Massa	kilogram	kg
Waktu	sekon	s
Arus listrik	ampere	A
Temperatur	kelvin	K
Jumlah zat	mole	mol
Intensitas cahaya	candela	cd

## 2.2 Konversi Satuan

Besaran apapun yang diukur seperti panjang, kecepatan ataupun arus listrik, terdiri dari angka dan satuan. Sering kali dijumpai besaran dalam satu set satuan, sementara kita ingin menyatakannya dalam set satuan yang lain. Sebagai contoh set satuan kecepatan yang dinyatakan dalam 50 km/jam, sementara dalam SI satuan kecepatan dinyatakan dalam satuan m/s, maka untuk menyatakan satuannya dalam m/s kita harus menggunakan **faktor konversi**.

**Penyelesaian faktor konversi:**

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

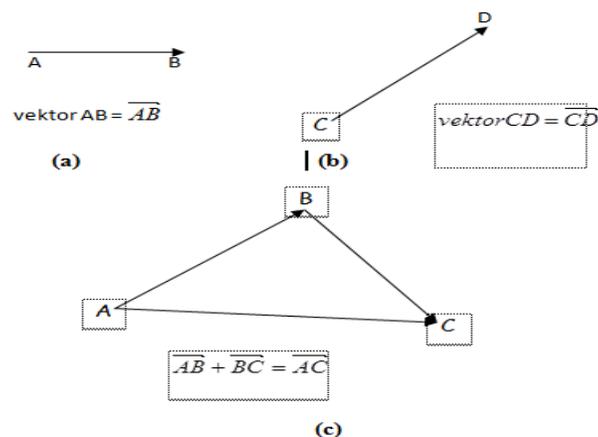
$$1 \text{ jam} = 3600 \text{ s}$$

$$\text{maka : } 50 \text{ km/jam} = \frac{50 \times 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{50000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 13,88888889 \text{ m/s}$$

## 2.3 Vektor

Perpindahan adalah pergeseran yang mempunyai panjang dan arah, yang didalam matematika disebut dengan vektor.

Contoh: Perpindahan



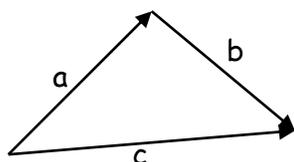
Gambar 2.1. Pergeseran dari A ke B (a) Pergeseran dari C ke D (b). Pergeseran dari A ke B dan lanjut dari B ke C (c)

## 2.4 Penjumlahan Vektor

Dua vektor atau lebih dapat dijumlahkan menghasilkan satu vektor baru yang disebut dengan vektor resultan, dan penjumlahan vektor terbagi dua metode yaitu:

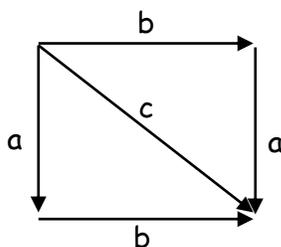
- a. **Metode Geometri** : yaitu penjumlahan vektor yang menghasilkan bentuk geometri.

Contoh :



$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$$

**Penjumlahan 2 vektor menghasilkan bangun segitiga (a)**



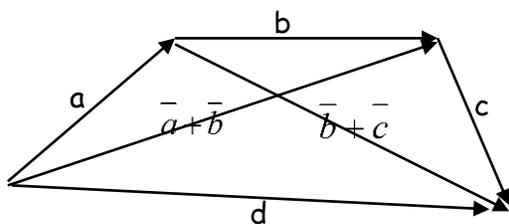
$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$$

$$\vec{b} + \vec{a} = \vec{c}$$

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a} = \vec{c}$$

**( hukum komutatif )**

**Penjumlahan 2 vektor menghasilkan bangun persegi (b)**



$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{d}$$

$$(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} = \vec{d}$$

$$\vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{d}$$

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{d}$$

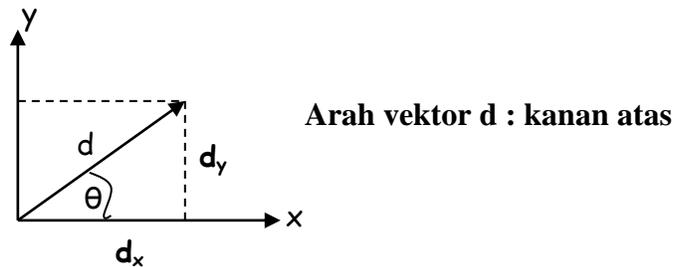
**( hukum asosiatif )**

**Penjumlahan 3 vektor menghasilkan bangun trapesium (c)**

Gambar 2.2 Penjumlahan vektor dengan metode geometri

- b. **Metode Analitis** : yaitu Penjumlahan vektor berdasarkan uraian komponen pembentuk vektor.

Contoh : sebuah vektor  $d$  dengan sudut kemiringan  $\theta$



Gambar 2.3. Penguraian vektor berdasarkan komponen pembentuk vektor

**Fungsi trigonometris :**

$$\sin \theta = \frac{d_y}{d} \quad \rightarrow \quad d_y = d \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{d_x}{d} \quad \rightarrow \quad d_x = d \cos \theta$$

Vektor  $d$  ( $\vec{d}$ ) dibentuk oleh komponen-komponen nya yaitu:

Komponen pembentuk vektor  $d$  ( $\vec{d}$ ) terhadap sumbu  $x$  adalah :

$$d_x = + d \cos \theta \quad (d_x (+) : \text{arahnya kanan})$$

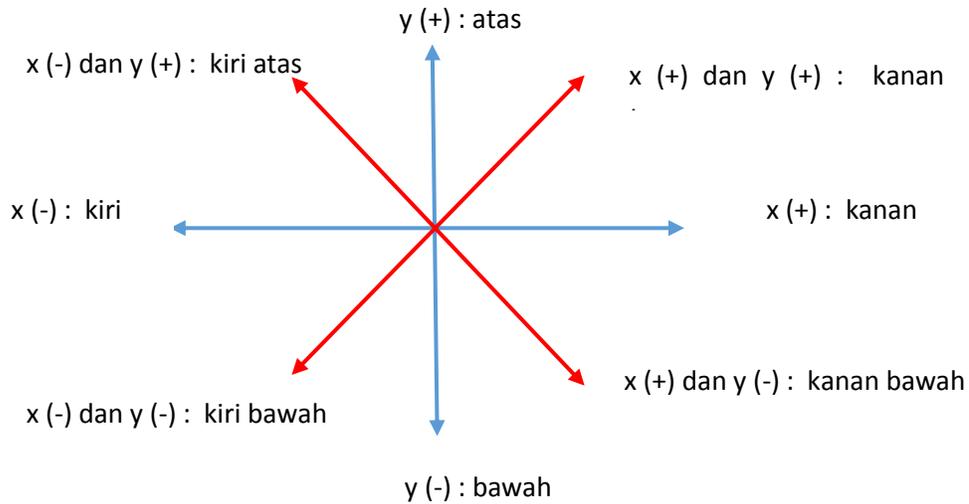
Komponen pembentuk vektor  $d$  ( $\vec{d}$ ) terhadap sumbu  $y$  adalah :

$$d_y = + d \sin \theta \quad (d_y (+) : \text{arahnya atas})$$

Berdasarkan **teorema pythagoras** maka besar vektor  $d$  adalah :

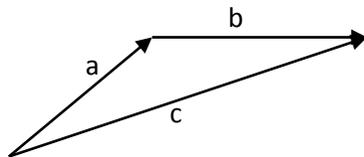
$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} = \dots\dots\dots$$

**Catatan** : Aturan arah dalam sistem koordinat



### Evaluasi

Tentukan besar vektor resultan dan arahnya dari penjumlahan vektor berikut dengan metode analitis



### Kunci Jawaban

- Vektor resultan :  $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$
- Uraian komponen pembentuk masing-masing vektor:

Komponen pembentuk vektor a (vektor a merupakan garis miring yang arahnya kanan atas):

$$\vec{a} : a_x \text{ dan } a_y$$

Dimana :

$$a_x = + a \cos \theta \quad (a_x (+) \text{ arahnya kanan } )$$

$$a_y = + a \sin \theta \quad (a_y (+) \text{ arahnya atas } )$$

Komponen pembentuk vektor b (vektor b merupakan garis lurus yang arahnya kanan):

$$\vec{b} : b_x \text{ dan } b_y$$

Dimana :

$$b_x = + b \quad (b_x (+) : \text{ arahnya kanan } )$$

$$b_y = 0 \quad (b_y (0) : b \text{ tidak ada ke arah atas } )$$

Komponen pembentuk vektor c :

$$\vec{c} : c_x \text{ dan } c_y$$

karena vektor c merupakan vektor resultan maka komponen-komponen vektor c adalah jumlah dari komponen vektor a dan vektor b yaitu:

$$c_x = a_x + b_x$$

$$= a \cos \theta + b$$

karena  $a_x$  arahnya kanan dan  $b_x$  juga arahnya kanan maka  $c_x$  arahnya **kanan** juga

$$c_y = a_y + b_y$$

$$= a \sin \theta + 0$$

$$= a \sin \theta$$

karena  $a_y$  arahnya atas dan  $b_y = 0$  maka  $c_y$  arahnya **atas**

➤ Maka besar vektor resultan  $c$  berdasarkan teorema pythagoras :

$$c = \sqrt{c_x^2 + c_y^2}$$

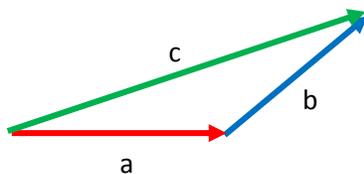
$$c = \sqrt{(a \cos \theta + b)^2 + (a \sin \theta)^2}$$

Dan arah vektor  $c$  adalah **kanan atas**

**Tugas:**

**Kerjakan soal berikut:**

1. Tuliskan minimal 10 besaran turunan dan satuannya dalam SI, buat dalam tabel seperti tabel 1 dan tentukan besaran – besaran yang masuk besaran vektor dan besaran skalar
2. Konversikan satuan dari besaran berikut:
  - a.  $30\text{m/s} = \dots\dots\text{km/jam}$
  - b.  $75\text{km/jam} = \dots\dots\text{m/s}$
  - c.  $1\text{kg/m}^3 = \dots\dots\text{gr/cm}^3$
3. Tentukan besar vektor resultan dan arahnya dari penjumlahan vektor berikut dengan metode analitis:



### III. KINEMATIKA

**Mekanika** adalah ilmu Fisika yang khusus mempelajari tentang gerak benda.

Mekanika terbagi dua yaitu : **Kinematika** dan **Dinamika**.

**3.1. Kinematika:** cabang mekanika yang mempelajari gerak suatu benda tanpa meninjau penyebab gerak tersebut.

**Besaran fisika dalam studi Kinematika adalah:**

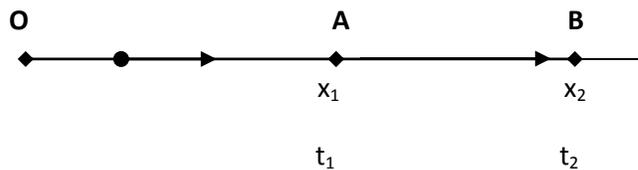
- Perpindahan (displacement)
- Kecepatan (velocity)
- Percepatan (accelaration)

Persamaan gerak benda harus memakai persamaan matematika dan gerak suatu benda memerlukan kerangka acuan yaitu sumbu koordinat.

#### 3.1.1 Perpindahan (Perubahan Posisi), $x$ (m)

Suatu benda yang berpindah akan mengalami perubahan posisi, seberapa jauh benda tersebut berpindah dan berapa lama terjadi perpindahan tersebut.

Contoh: Andaikan suatu benda bergerak searah sumbu- $x$  (arah horizontal), sketsa pergerakannya dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Perpindahan Pada Arah Horizontal

Perpindahan benda dari O ke A sejauh  $x_1$

Perpindahan benda dari O ke B sejauh  $x_2$

**Perpindahan benda dari A ke B adalah :**

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

Waktu yang diperlukan suatu benda berpindah dari O ke A adalah  $t_1$

Waktu yang diperlukan suatu benda berpindah dari O ke B adalah  $t_2$

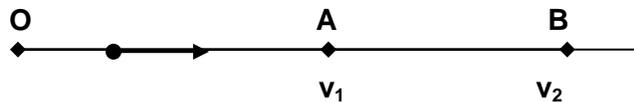
**Perubahan waktu ketika benda berpindah dari A ke B adalah:**

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

### 3.1.2. Kecepatan (velocity), $v$ (m/s)

#### a. Kecepatan rata-rata

*Kecepatan rata-rata adalah perbandingan perubahan posisi terhadap perubahan waktu*



Gambar 3.2. Perubahan Posisi Benda Pada Arah Horizontal Dengan Kecepatan Saat di A dan B

Benda bergerak dari A ke B dengan melakukan pergeseran sejauh :

$$\mathbf{OB - OA = x_2 - x_1 = \Delta x} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Dalam selang waktu :

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Dari persamaan (3.1) dan (3.2) diperoleh **Kecepatan rata-rata** yaitu :

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

## b. Kecepatan Sesaat

Kecepatan sesaat adalah merupakan kecepatan rata-rata dengan perubahan waktu yang sangat singkat atau  $\Delta t \rightarrow 0$ . Sehingga untuk menentukan kecepatan benda saat titik A atau B pada Gambar 3.2 diatas dapat dinyatakan dengan nilai limit dari kecepatan rata-rata dengan perubahan kondisi gerakan yang terjadi pada selang waktu yang sangat singkat tersebut (harga limit) atau  $\Delta t \rightarrow 0$

Jadi : 
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \dots\dots\dots (3.4)$$

atau 
$$v = \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (3.5)$$

- ❖ **Kecepatan sesaat merupakan fungsi waktu yang selalu mengalami perubahan terhadap waktu**
- ❖ **Kecepatan benda ketika sampai (saat) di A adalah  $v_1$**
- ❖ **Kecepatan benda ketika sampai (saat) di B adalah  $v_2$**

### 3.1.3. Percepatan (acceleration), a ( $m/s^2$ )

Percepatan adalah laju perubahan kecepatan terhadap waktu.

#### a. Percepatan Rata-rata

**Percepatan rata-rata adalah** perbandingan perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu yang diperlukan untuk membuat perubahan tersebut, yang dinyatakan dengan:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \dots\dots\dots (3.6)$$

#### b. Percepatan Sesaat

Sedangkan **percepatan sesaat** dapat didefinisikan sebagai nilai limit dari percepatan rata-rata dengan perubahan waktu sekecil mungkin atau  $\Delta t \rightarrow 0$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

atau  $a = \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(3.7)$

### 3.1.4. Gerak Dengan Percepatan Konstan

Suatu benda bergerak dengan percepatan konstan, jika percepatan rata-ratanya sama dengan percepatan sesaat ( $\bar{a} = a$ ).

Benda akan mengalami perubahan kecepatan dan perubahan posisi secara beraturan.

#### a. Kecepatan

Dari persamaan (3.6) :  $\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$

dimana :

$$\bar{a} = a$$

$$v_1 = v_0 \text{ (kecepatan awal)}$$

$$v_2 = v \text{ (kecepatan akhir)}$$

$$t_1 = 0 \text{ (waktu awal)}$$

$$t_2 = t \text{ (waktu akhir)}$$

Maka untuk menentukan kecepatan jika benda bergerak dengan percepatan konstan adalah :

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

$$a.t = v - v_0$$

$$\boxed{v = v_0 + a \cdot t} \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana:  $v_0$  = kecepatan awal, m/s

$v$  = kecepatan akhir, m/s

$a$  = percepatan, m/s<sup>2</sup>

$t$  = waktu, s

**b. Posisi/Jarak Tempuh**

Dari persamaan (3.3) :  $\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

dimana :  $x_1 = x_0$  ( Posisi awal )

$x_2 = x$  ( Posisi akhir )

dan  $\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} = \frac{v_0 + v_0 + a \cdot t}{2} = \frac{2v_0 + a \cdot t}{2} = v_0 + \frac{1}{2} a \cdot t$

Maka untuk menentukan posisi/jarak tempuh jika percepatannya konstan adalah:

$$v_0 + \frac{1}{2} a \cdot t = \frac{x - x_0}{t}$$

$$\left( v_0 + \frac{1}{2} a \cdot t \right) t = x - x_0$$

$$v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = x - x_0$$

$$\boxed{x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2} \dots\dots\dots(3.9)$$

dimana :  $x_0$  = posisi awal, m

$x$  = posisi akhir, m

$v_0$  = kecepatan awal, m/s

$a$  = percepatan,  $m/s^2$

$t$  = waktu, s

**Gerak benda yang mengalami percepatan konstan disebut dengan gerak lurus berubah beraturan (GLBB).**

❖ Kombinasi persamaan (3.8) dan (3.9) :

Persamaan (3.8) dikuadratkan :

$$v^2 = (v_0 + at)^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2v_0at + a^2t^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2v_0at + a^2t^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(v_0t + \frac{1}{2}at^2)$$

Dari persamaan (3.9) :

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$x - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Kedua persamaan dikombinasikan maka diperoleh :

$$v^2 - v_0^2 = 2.a ( x - x_0 )$$

.....(3.10)

**Kesimpulan**

❖ **Persamaan GLBB :**

1.  $v = v_0 + a \cdot t$

2.  $x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$

3.  $v^2 - v_0^2 = 2.a ( x - x_0 )$

**Percepatan a (+) : gerak dipercepat**

**Percepatan a (-) : gerak diperlambat**

### 3.1.5. Gerak Vertikal

Salah satu contoh dari gerak dengan percepatan konstan (**GLBB**) adalah gerak vertikal, karena gerak vertikal dipengaruhi percepatan gravitasi yang besarnya  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (konstan).

Untuk benda yang bergerak vertikal keatas percepatan gravitasi bernilai negatif, sedangkan vertikal kebawah percepatan gravitasi bernilai positif, keduanya memiliki kecepatan awal ( $v_0$ ), sedangkan gerak jatuh bebas percepatan gravitasi bernilai positif tetapi kecepatan awalnya sama dengan nol ( $v_0=0$ ).

Persamaan-persamaan yang menyatakan gerak vertikal analog dengan persamaan-persamaan GLBB dengan mendeskripsikan  $x$  menjadi  $y$  (ketinggian) dan  $a$  menjadi  $g$  (percepatan gravitasi)

Berdasarkan arahnya, gerak vertikal dibagi menjadi 3 yaitu:

**a. Vertikal kebawah (ada dorongan,  $v_0 \neq 0$ )**

- Kecepatan :  $v = v_0 + g t$

- Ketinggian :  $y = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g t^2$

**b. Jatuh Bebas (tidak ada dorongan ,  $v_0 = 0$ )**

- Kecepatan :  $v = g t$

- Ketinggian :  $y = y_0 + \frac{1}{2} g t^2$

**c. Vertikal keatas (ada dorongan,  $v_0 \neq 0$ )**

- Kecepatan :  $v = v_0 - g t$

- Ketinggian :  $y = y_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$

**❖ Persamaan GLBB untuk gerak vertikal:**

1.  $v = v_0 \pm g t$
2.  $y = y_0 + v_0 \cdot t \pm \frac{1}{2} g t^2$
3.  $v^2 = v_0^2 \pm 2 \cdot g (y - y_0)$

(+) : jika geraknya vertikal kebawah

(-) : jika geraknya vertikal keatas

**Catatan:**

- **GLBB : Gerak Lurus Berubah Beraturan ( percepatan konstan )**
- **GLBTB : Gerak Lurus Berubah Tidak Beraturan ( percepatan tidak konstan )**
- **GLB : Gerak Lurus beraturan ( percepatan sama dengan nol atau kecepatan konstan )**

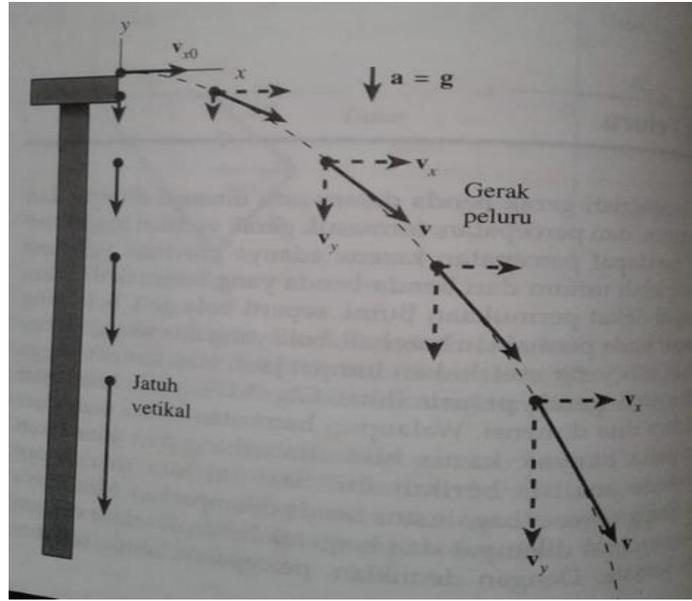
**3.1.6. Gerak Dalam 2 Dimensi**

Gerak benda yang mengalami perubahan 2 arah sekaligus disebut gerak dalam 2 dimensi.

Benda yang bergerak diudara merupakan gerak dalam 2 dimensi, sebagai contoh: bola yang ditendang keudara, peluru yang ditembakkan keudara yang membentuk sudut.

**Analisa gerak dalam 2 dimensi**

Contoh 1: Sebuah bola yang digelindingkan dari atas meja dan jatuh kelantai (**seperti pada gambar 3.3**)



Gambar 3.3 Bola yang digelindingkan dari atas meja

Ketika bola digelindingkan dari atas meja dan jatuh dapat dilihat dalam 2 keadaan :

- **Keadaan I:**

Jika bola jatuh vertikal, maka gerak bola disebut **jatuh bebas** (bola bergerak dalam **1 dimensi**), dimana kecepatan awalnya,  $v_0 = 0$  dan kecepatan akhir,  $v = g.t$

- **Keadaan II:**

Jika bola jatuh mengikuti **gerak peluru** (gerak dalam 2 dimensi), maka gerak bola mengalami perubahan 2 arah sekaligus yaitu **arah horizontal** dan **arah vertikal**.

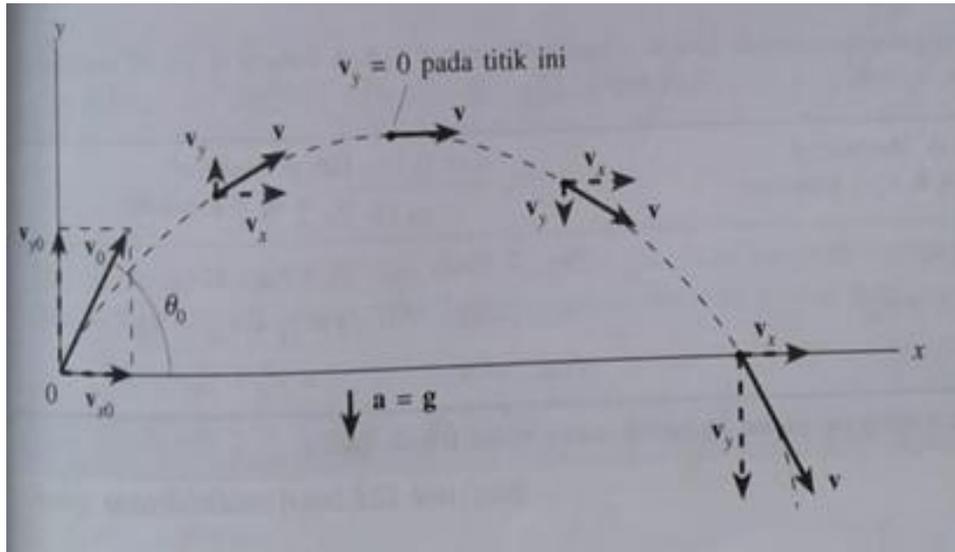
- Arah horizontal:

Kecepatan bola arah horizontal adalah konstan :  $v_{x0} = v_x \rightarrow a=0$   
(kecepatan awal = kecepatan akhir)

- Arah Vertikal:

Kecepatan bola arah vertikal ( $v_y$ ) mengalami perubahan, semakin kebawah kecepatannya semakin besar.

Contoh 2. Sebuah bola ditendangkan keudara dengan kecepatan awal  $v_0$  dan membentuk sudut  $\theta$



Gambar 3.4 Bola yang ditendangkan keudara dan membentuk sudut

Ketika sebuah bola ditendang keudara dengan kecepatan awal,  $v_0$  dan membentuk sudut  $\theta$ , maka gerak bola mengikuti gerak dalam 2 dimensi dan lintasan bola membentuk kurva parabola (**lintasan bola dapat dilihat pada gambar 3.4**).

- Ketika bola bergerak keatas:
  - Kecepatan arah horizontalnya konstan ,  $v_{0x} = v_x$
  - Kecepatan arah vertikal  $v_y$  mengalami perubahan semakin keatas kecepatannya semakin kecil, dan ketika mencapai tinggi maksimum kecepatannya nol,  $v_y = 0$
- Ketika bola bergerak kebawah:
  - Kecepatan arah horizontalnya tetap konstan ,  $v_{0x} = v_x$
  - Kecepatan arah vertikal  $v_y$  mengalami perubahan semakin kebawah kecepatannya semakin besar

Komponen pembentuk vektor kecepatan awal:

- Arah horizontal :  $v_{0x} = v_0 \cos\theta$
- Arah vertikal :  $v_{0y} = v_0 \sin\theta$

### Persamaan pada gerak dalam 2 dimensi:

No.	Arah Horizontal, $a = 0$	Arah Vertikal, $g = 9,81\text{m/s}^2$
1.	$v_x = v_{0x}$ (konstan)	$v_y = v_{0y} \pm g \cdot t$
2.	$x = x_0 + v_{0x} \cdot t$	$y = y_0 + v_{0y} \cdot t \pm \frac{1}{2} g \cdot t^2$
3.	$v_x^2 = v_{0x}^2$	$v_y^2 = v_{0y}^2 \pm 2g \cdot y$

Tanda (+) : gerak kebawah

Tanda (-) : gerak keatas

x : jarak tempuh bola

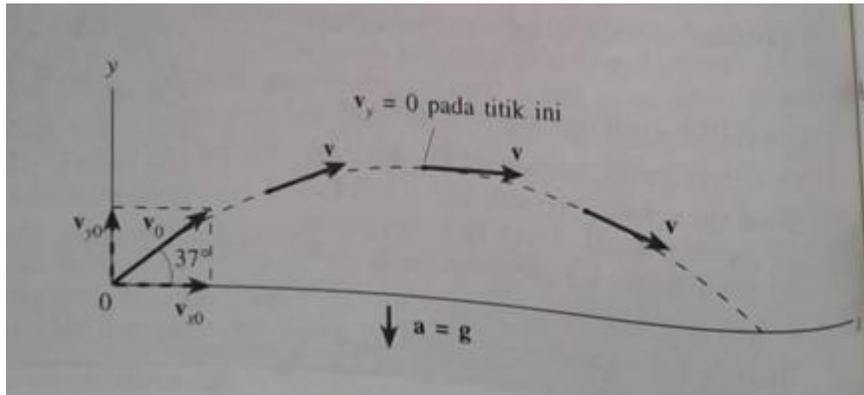
y : tinggi yang dicapai bola

### Evaluasi

Contoh soal

1. Sebuah mobil bergerak sepanjang jalan lurus bebas hambatan kearah sumbu x positif dan pengemudinya mengerem. Jika kecepatan awal adalah  $v_1=15\text{m/s}$  dan memerlukan 5s untuk merubah kecepatannya menjadi  $v_2=5\text{m/s}$ . Hitunglah percepatan rata-rata yang dialami mobil tersebut.
2. Sebuah bola dilemparkan vertikal keatas dari tangan seseorang dengan kecepatan 10m/s.
  - a. berapa lama bola tersebut mencapai tinggi maksimum
  - b. berapa ketinggian yang dicapai bola tsb.
  - c. berapa lama bola kembali ketangan orang tersebut
  - d. berapa kecepatan bola ketika menyentuh kembali tangan orang tersebut

3. Sebuah bola ditendang keudara dengan sudut  $37^\circ$  dari atas permukaan tanah dan dengan kecepatan  $20\text{m/s}$ , seperti gambar dibawah.
- Berapa lama bola mencapai tinggi maksimum.
  - Jarak tempuh bola ketika mencapai tinggi maksimum
  - Hitung tinggi maksimum yang dicapai bola
  - Berapa lama perjalanan bola untuk kembali lagi kepermukaan tanah
  - Hitung jarak tempuh bola ketika kembali lagi kepermukaan tanah



### Kunci Jawaban

1. Dik :  $v_1 = 15\text{m/s}$   
 $v_2 = 5\text{m/s}$   
 $\Delta t = 5\text{s}$

Dit :  $\bar{a} = \dots ?$  ( percepatan rata-rata )

Penyelesaian :

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{(5 - 15)\text{m/s}}{5\text{s}} = -2\text{m/s}^2 \rightarrow \text{diperlambat}$$

2. Dik :  $v_0 = 10\text{m/s}$   
 $v = 0$  ( kecepatan ketika bola mencapai tinggi maksimum )  
 $y_0 = 0$  ( tinggi awal dianggap nol )

Dit :

➤ **Vertikal keatas:**

a.  $t_1 = \dots ?$  ( waktu untuk mencapai tinggi maksimum)

b.  $y_{\text{maks}} = \dots ?$  ( tinggi maksimum )

➤ **Jatuh bebas**

b.  $t_2 = \dots ?$  ( waktu untuk bola kembali ketangan sipelempar )

c.  $v = \dots ?$  ( kecepatan ketika bola kembali ketangan sipelempar )

Penyelesaian:

➤ Vertikal keatas:

a. Waktu untuk mencapai tinggi maksimum

$$v = v_0 - gt$$

$$0 = 10 - 9,81t_1$$

$$9,81t_1 = 10$$

$$t_1 = \frac{10}{9,81} = \mathbf{1,02s}$$

b. Tinggi maksimum yang dicapai bola

$$\begin{aligned} y_{\text{maks}} &= y_0 + v_0 \cdot t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \\ &= 0 + 10 ( 1,02) - \frac{1}{2} (9,81) (1,02)^2 \\ &= 10,2 - 5,1 = \mathbf{5,1m} \end{aligned}$$

➤ Jatuh bebas

c. Bola jatuh dari ketinggian 5,1m dan waktu yang diperlukan bola untuk kembali ketangan sipelempar:

$$y_{\text{maks}} = y_0 + \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$5,1 = 0 + \frac{1}{2} (9,81) t_2^2$$

$$5,1 = 0 + 4,905 t_2^2$$

$$t_2^2 = \frac{5,1}{4,905} = 1,04s^2 \rightarrow t_2 = \sqrt{1,04} = \mathbf{1,02s}$$

b. Kecepatan ketika bola kembali ketangan sipelempar

$$v = g t_2 = 9,81 (1,02) = 10\text{m/s}$$

3. Dik :  $\theta = 37^\circ$

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

Dit:

- $t_1 = \dots?$  waktu bola mencapai tinggi maksimum  $\rightarrow$  gerak keatas
- $x = \dots?$  jarak ketika bola mencapai tinggi maksimum
- $y_{\text{maksimum}} = \dots?$   $\rightarrow$  gerak keatas
- $t = \dots?$  waktu selama bola diudara  $\rightarrow$  gerak keatas dan kebawah
- $x = \dots?$  jarak horizontal yang ditempuh bola  $\rightarrow$  gerak horizontal

Penyelesaian:

Komponen pembentuk vektor kecepatan awal:

- Arah horizontal :  $v_{0x} = v_0 \cos\theta = 20\text{m/s} (\cos 37^\circ) = 15,97\text{m/s}$
- Arah vertikal :  $v_{0y} = v_0 \sin\theta = 20\text{m/s} (\sin 37^\circ) = 12,04\text{m/s}$

a. Gerak keatas: ketika bola mencapai tinggi maksimum  $v_y = 0$

$$v_y = v_{y0} - g \cdot t_1$$

$$0 = 12,04\text{m/s} - 9,81\text{m/s}^2(t_1)$$

$$9,81\text{m/s}^2(t_1) = 12,04\text{m/s}$$

$$t_1 = \frac{12,04\text{m/s}}{9,81\text{m/s}^2} = 1,23\text{s} \rightarrow \text{waktu ketika bola mencapai tinggi maksimum}$$

b. Jarak tempuh bola ketika mencapai tinggi maksimum

$$x = x_0 + v_{x0} \cdot t_1$$

$$= 0 + 15,97\text{m/s} (1,23\text{s}) = 19,64\text{m}$$

c.  $y_{\text{maksimum}} = y_0 + v_{y0} \cdot t_1 - \frac{1}{2} g \cdot t_1^2 \rightarrow y_0 = 0$  (tinggi awal)

$$= 0 + 12,04\text{m/s}(1,23\text{s}) - \frac{1}{2} (9,81\text{m/s}^2)(1,23\text{s})^2$$

$$= \mathbf{7,39\text{m}} \rightarrow \mathbf{\text{tinggi maksimum yang dicapai bola}}$$

d. Bola ditendang dari tinggi awal  $y_0 = 0$  sampai tinggi akhir  $y = 0$

$$y = y_0 + v_{y0} \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$0 = 0 + 12,04\text{m/s}(t) - \frac{1}{2} (9,81\text{m/s}^2)(t^2)$$

$$0 = 12,04\text{m/s}(t) - 4,905\text{m/s}^2(t^2)$$

$$4,905\text{m/s}^2(t^2) = 12,04\text{m/s}(t) \rightarrow \text{bagi dengan } t$$

$$4,905\text{m/s}^2(t) = 12,04\text{m/s}$$

$$t = \frac{12,04\text{m/s}}{4,905\text{m/s}^2} = \mathbf{2,46\text{s}} \rightarrow \mathbf{\text{waktu selama bola diudara}}$$

e. Jarak horizontal yang ditempuh bola selama waktu  $t = 2,46\text{s}$

$$x = x_0 + v_{x0} \cdot t$$

$$= 0 + 15,97\text{m/s}(2,46\text{s}) = \mathbf{39,29\text{m}}$$

### Tugas:

#### Kerjakan soal berikut:

1. Sebuah mobil mengalami perubahan kecepatan secara beraturan **dari** 15m/s **sampai berhenti** dalam waktu 9s.

Hitung :

- a. percepatan rata-rata yang dialami mobil tersebut
- b. jarak yang ditempuh mobil untuk merubah kecepatannya

2. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 45km/jam melambat beraturan sebesar  $0,5\text{m/s}^2$ .

Hitunglah :

- a. waktu yang diperlukan mobil sampai berhenti
- b. jarak yang ditempuh mobil sampai berhenti

3. Sebuah pesawat terbang harus mencapai kecepatan  $30\text{m/s}$  untuk lepas landas.
  - a. Berapa panjang landasan pacu yang dibutuhkan jika pesawat tersebut mengalami percepatan konstan sebesar  $3\text{m/s}^2$ .
  - b. Dan berapa lama waktu yang diperlukan pesawat tersebut untuk lepas landas.
  
4. Sepotong batu dijatuhkan bebas dari atas tebing, dalam waktu 2s batu tersebut mencapai dasar tebing.
  - a. dari ketinggian berapakah batu tersebut dijatuhkan
  - b. berapa kecepatan batu ketika mencapai dasar tebing
  
5. Seorang pemain bola menendang bola dari pojok lapangan menuju gawang dengan kecepatan awal  $15\text{m/s}$  dengan sudut  $35^\circ$  diatas permukaan tanah.

(percepatan gravitasi,  $9,81\text{m/s}^2$ )

Hitung :

- a. Berapa lama bola mencapai tinggi maksimum.
- b. Jarak tempuh bola ketika mencapai tinggi maksimum
- c. Hitung tinggi maksimum yang dicapai bola
- d. Berapa lama perjalanan bola untuk kembali lagi kepermukaan tanah
- e. Hitung jarak tempuh bola ketika kembali lagi kepermukaan tanah

## IV. DINAMIKA

Adapun tujuan pembelajaran dari materi kuliah ini adalah sebagai berikut:

- a. Agar mahasiswa mampu menjelaskan penyebab benda bergerak berdasarkan hukum Newton
- b. Agar mahasiswa dapat memahami hukum kekekalan momentum berdasarkan proses memberi dan menerima

**Dinamika** adalah ilmu yang mempelajari tentang gerak dan penyebab gerak tersebut.

### 4.1. Hukum Inersia/ Kelembaman ( Hukum Newton I )

**Hukum Newton I menyatakan bahwa: Jika tidak ada pengaruh dari luar yang diberikan pada suatu benda maka :**

- Benda yang mula-mula diam akan tetap diam (  $v = 0$  )
- Benda yang mula-mula bergerak akan tetap bergerak (  $v = \text{konstan}$  )

**Pengaruh luar dinyatakan Newton sebagai gaya**

**Secara matematik dapat ditulis :**

$$\boxed{\Sigma F = 0} \dots\dots\dots(4.1)$$

**Dimana :  $\Sigma F$  = jumlah gaya- gaya yang bekerja**

**Hukum Newton I :**

- menunjukkan sifat inersia/kelembaman benda
- Massa adalah ukuran kuantitatif kemudahan benda diubah keadaan geraknya.
- Massa menjadi ukuran inersia (kecenderungan untuk mempertahankan keadaan awalnya)

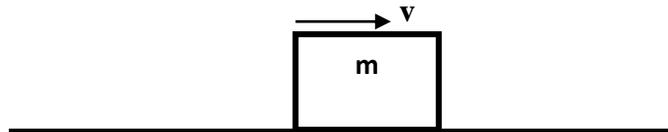
#### 4.2. Momentum, $p$ (kg m/s)

**Momentum** adalah ukuran tingkat kesulitan untuk memberhentikan gerak sebuah benda.

Sebuah benda yang massanya ( $m$ ) bergerak dengan kecepatan ( $v$ ), maka dikatakan benda tersebut mempunyai momentum ( $p$ ) sebesar:

$$\boxed{p = m \cdot v} \dots\dots\dots(4.2)$$

#### Contoh 1: Benda yang bergerak



Gambar 4.1. Benda yang massanya  $m$  bergerak dengan kecepatan  $v$

Maka momentum benda diatas adalah:  $p = m \cdot v$

Salah satu cara untuk merubah kecepatan suatu benda agar momentumnya berubah adalah dengan peristiwa **tumbukan**.

#### Contoh 2 : Dua benda berada pada jalur yang sama dan bergerak pada arah yang sama

##### ❖ Sebelum tumbukan

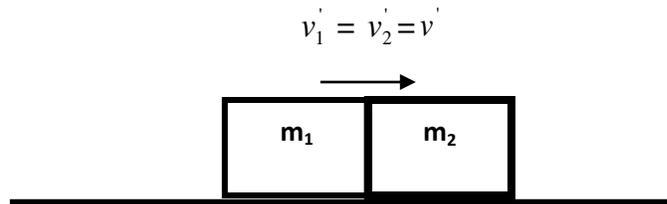


Gambar 4.2.. Dua benda yang bergerak pada jalur yang sama  
dimana  $v_1 > v_2$  (sebelum tumbukan)

momentum benda 1 :  $p_1 = m_1 \cdot v_1$

momentum benda 2 :  $p_2 = m_2 \cdot v_2$

❖ Setelah tumbukan



Gambar 4.3. Dua benda yang bergerak pada jalur yang sama

dimana  $v_1' = v_2' = v'$  (setelah tumbukan keduanya bersatu)

momentum benda 1 :  $p_1' = m_1 v_1'$

momentum benda 2 :  $p_2' = m_2 v_2'$

Sebagai akibat tumbukan maka terjadi perubahan kecepatan untuk kedua benda:

- benda pertama : dari  $v_1$  menjadi  $v_1'$  (kecepatan berkurang)
- benda kedua : dari  $v_2$  menjadi  $v_2'$  (kecepatan bertambah)

Terjadi perubahan kecepatan karena pada sistem akibat adanya proses memberi dan menerima dalam bentuk energi, berdasarkan hukum kekekalan energi maka dinyatakan hukum kekekalan momentum.

### Hukum kekekalan momentum menyatakan :

“Jumlah momentum sebelum tumbukan = jumlah momentum setelah tumbukan“

Secara matematik dapat ditulis:

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

atau :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

### 4.3. Gaya dan Hukum Newton II

Untuk merubah kecepatan gerak benda diperlukan pengaruh luar yang disebut dengan **gaya**, sehingga momentum benda tersebut juga mengalami perubahan.

Secara matematik dapat ditulis:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad p = m v$$

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F = m \cdot a$$

Atau  $\boxed{\Sigma F = m \cdot a}$  atau  $\boxed{a = \frac{\Sigma F}{m}}$  .....(4.5)

dimana :

$\Sigma F$  = gaya total yang bekerja ( N = kg m/s<sup>2</sup> )

m = massa ( kg )

a = percepatan ( m/s<sup>2</sup> )

#### Hukum Newton II:

**Percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja pada benda tersebut**

#### 4.4. Aksi – Reaksi ( Hukum Newton III )

Hukum Kekekalan Momentum menyatakan: "Jumlah momentum sebelum tumbukan sama dengan Jumlah momentum setelah tumbukan" atau Jumlah momentum tetap

Secara matematik dapat ditulis :

$$p_1 + p_2 = \text{tetap}$$

persamaan diatas dikali dengan  $\frac{d}{dt}$  maka :

$$\frac{dp_1}{dt} + \frac{dp_2}{dt} = \frac{dtetap}{dt}$$

Untuk merubah momentum sebuah benda persatuan waktu diperlukan sebuah **gaya** sehingga persamaan diatas dapat ditulis :

$$\boxed{F_1 + F_2 = 0 \quad \text{Atau} \quad F_1 = -F_2} \quad \dots\dots\dots(4.6)$$

Dimana :  $F_1 = \text{Aksi}$

$F_2 = \text{Reaksi}$

**Aksi = Reaksi ( yang besarnya sama tetapi arah berlawanan )**

#### Hukum Newton III :

**Ketika sebuah benda pertama memberikan gaya pada benda kedua, maka benda kedua memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama atau disebut setiap ada Aksi, ada Reaksi yang sama dan berlawanan arah**

## Evaluasi

### Contoh Soal

1. Sebuah gerobak bermassa **1000kg** bergerak dengan kecepatan **8m/s** menabrak gerobak yang sejenis berjalan dengan kecepatan **4m/s**. Akibat tabrakan gerobak pertama diam dan gerobak kedua tetap bergerak. Hitunglah kecepatan kedua gerobak setelah tabrakan
2. Gaya total sebesar **255N** mempercepat sebuah sepeda dan pengendaranya sebesar **2,2m/s<sup>2</sup>**. Hitung massa total sipengendara dengan sepedanya.

### Kunci jawaban

1. Dik:

Gerobak I:

$$m_1 = 1000\text{kg}$$

$$v_1 = 8\text{m/s}$$

$$v_1' = 0 \text{ ( setelah tabrakan diam )}$$

Gerobak II

$$m_2 = 1000\text{kg}$$

$$v_2 = 4\text{m/s}$$

Dit :  $v_1'$  dan  $v_2' = \dots?$

Penyelesaian:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$1000 (8) + 1000 (4) = 1000 (0) + 1000 v_2'$$

$$12000 = 1000 v_2'$$

$$v_2' = 1,2\text{m/s} \text{ dan } v_1' = 0$$

## 4.5. Kerja Dan Energi

Adapun tujuan pembelajaran dari materi kuliah ini adalah sebagai berikut:

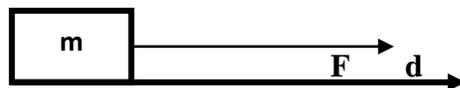
- Mahasiswa mampu menjelaskan konsep Teorema Kerja-Energi dalam Mekanika
- Mahasiswa mampu menjelaskan dan memahami energi yang digunakan ketika benda bergerak arah horizontal dan arah vertical
- Mahasiswa mampu menganalisa hukum kekekalan energi

### 4.5.1. Kerja /Usaha, W (Nm)

Kerja telah dilakukan terhadap benda hanya jika ada gaya sejajar yang diberikan terhadap benda yang mengakibatkan benda tersebut berpindah.

**Contoh :**

#### a. Gaya yang diberikan sejajar dengan perpindahan



Gambar 4.4. Benda dipindahkan dengan gaya yang diberikan sejajar dengan perpindahan.

Kerja yang dilakukan untuk memindahkan benda massa  $m$  sejauh  $d$  jika diberi gaya  $F$  yang sejajar dengan perpindahan adalah:

$$\boxed{W = F_{//} \cdot d} \dots\dots\dots(4.7)$$

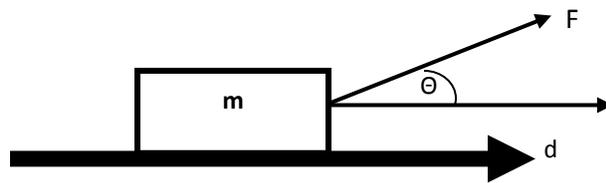
dimana :

$W$  = kerja ( Nm )

$F_{//}$  = gaya sejajar dengan perpindahan ( N )

$d$  = *distance*, jarak ( m )

**b. Gaya yang diberikan membentuk sudut dengan perpindahan**

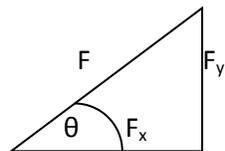


Gambar 4.5. Benda yang dipindahkan dengan gaya yang diberikan sejajar membentuk sudut dengan perpindahan

Kerja yang dilakukan untuk memindahkan benda massa  $m$  sejauh  $d$  jika diberi gaya  $F$  yang membentuk sudut  $\theta$  terhadap perpindahan adalah:

$$W = F_{//} \cdot d$$

Analisis Fungsi Trigonometris



$$\sin \theta = \frac{F_y}{F} \rightarrow F_y = F \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{F_x}{F} \rightarrow F_x = F \cos \theta$$

$F_{//} = F_x =$  Proyeksi  $F$  terhadap sumbu  $x$

Maka besar kerja yang dilakukan adalah :

$$W = F_{//} \cdot d$$

$$W = F_x \cdot d$$

$$W = F \cos \theta \cdot D$$

Atau

$$\boxed{W = F \cdot d \cdot \cos \theta} \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

dimana :  $W = \text{kerja ( Nm)}$

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

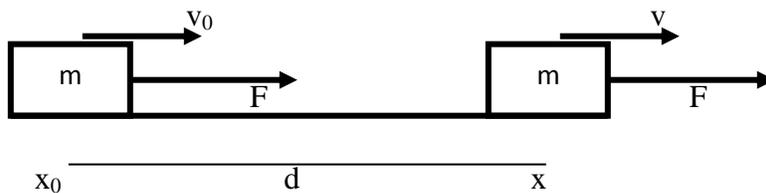
$d = \text{distance, jarak ( m )}$

$\theta = \text{sudut yang dibentuk oleh gaya terhadap perpindahan}$

### 4.5.2. Energi

#### a. Energi Kinetik, $E_K$

contoh:



Gambar 4.6. Benda yang dipindahkan mengalami perubahan kecepatan

Kerja yang dilakukan untuk memindahkan benda massa  $m$  sejauh  $d$  jika geraknya dipercepat dari  $v_0$  menjadi  $v$  dengan **percepatan konstan** dan gaya yang diberikan sejajar perpindahan adalah:

$$W = F_{//} \cdot d \quad \longrightarrow \quad F = m \cdot a \quad (\text{hukum Newton II})$$

Karena percepatan konstan maka dengan menggunakan persamaan GLBB diperoleh nilai percepatan sebagai berikut:

$$v^2 - v_0^2 = 2 a (x - x_0) \quad \longrightarrow \quad x - x_0 = d$$

$$v^2 - v_0^2 = 2 a d$$

maka: 
$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d}$$

Sehingga besar Kerja adalah :

$$W = m \left( \frac{v^2 - v_0^2}{2d} \right) d$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

dimana : Energi Kinetik,

$$\boxed{E_K = \frac{1}{2}mv^2} \dots\dots\dots(4.9)$$

Dimana :

Ek : energi kinetik, joule = J

m : massa benda, kg

v : kecepatan, m/s

Maka Kerja yang dilakukan untuk merubah kecepatan suatu benda adalah :

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$W = E_K - E_{K0}$$

$$\boxed{W = \Delta E_K} \dots\dots\dots(4.10)$$

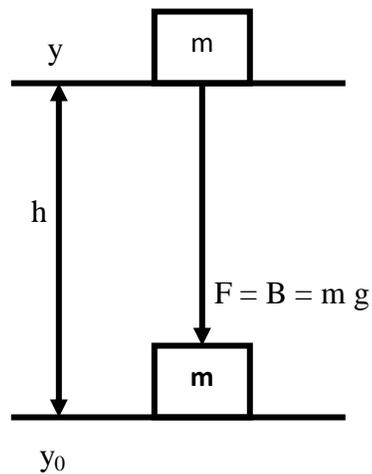
Dimana :  $E_{K0}$  = Energi Kinetik Awal, J

$E_K$  = Energi Kinetik Akhir, J

**❖ Teorema Kerja-Energi:**  
" Kerja yang dilakukan sama dengan Perubahan Energi Kinetik".

**b. Energi Potensial,  $E_p$**

contoh:



Gambar 4.7. Benda yang jatuh bebas

Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi untuk benda jatuh bebas dari ketinggian  $y$  hingga  $y_0$  (posisi dasar) setinggi  $h$  adalah:

$$W = F_{//} \cdot d \quad \longrightarrow \quad F = B = m g$$

$$d = h = (y - y_0)$$

$$W = m \cdot g \cdot h$$

$$W = m \cdot g \cdot (y - y_0)$$

$$W = m \cdot g \cdot y - m \cdot g \cdot y_0$$

Dimana : Energi Potensial,

$E_p = m \cdot g \cdot y$
---------------------------

.....(4.11)

Maka kerja yang dilakukan untuk merubah ketinggian benda:

$$W = E_p - E_{p0}$$

$$W = \Delta E_p \dots\dots\dots(4.12)$$

Dimana :

$E_p$  : energi potensial pada ketinggian maksimum, J

$E_{p0}$  : energi potensial pada ketinggian minimum, J

❖ **Teorema Kerja-Energi:**  
**Kerja yang dilakukan sama dengan Perubahan Energi Potensial".**

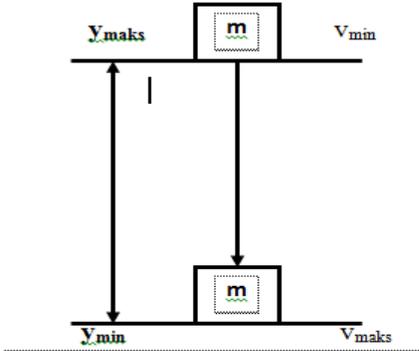
**c. Energi Mekanik,  $E_M$**

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk lain, maka dalam membahas mekanika dikenal dua bentuk energi yaitu: energi kinetik dan energi potensial.

Secara matematik dapat ditulis:

$$E_M = E_K + E_p \dots\dots\dots(4.13)$$

Contoh: Uraian analisa hukum kekekalan energi untuk benda jatuh bebas



Gambar 4.8. Analisa hukum kekekalan energi untuk benda yang jatuh bebas

Benda yang jatuh bebas dari ketinggian  $y_{\text{maks}}$  kecepatan awalnya sama dengan nol, ( $v_{\text{min}} = 0$ ), semakin kebawah kecepatannya semakin besar, sehingga pada ketinggian  $y_{\text{min}}$  kecepatannya maximum,  $v_{\text{maks}}$

Berikut analisa hukum kekekalan energi dalam bentuk energi mekanik.

### Untuk benda jatuh bebas

- ❖ Pada tinggi  $y_{\text{maks}}$ , ( $v_{\text{min}} = 0$ ),

$$E_{K\text{min}} = 0$$

$$E_{P\text{maks}} = m \cdot g \cdot y_{\text{max}}$$

Dari hukum kekekalan energi:

$$E_M = E_K + E_P$$

$$E_M = 0 + E_{P\text{maks}}$$

$$E_M = E_{P\text{maks}}$$

- ❖ Pada tinggi  $y_{\text{min}} = 0$ , ( $v = v_{\text{maks}}$ )

$$E_{K\text{maks}} = \frac{1}{2} m v_{\text{maks}}^2$$

$$E_{P\text{min}} = 0$$

Dari hukum kekekalan energi:

$$E_M = E_K + E_P$$

$$E_M = E_{K\text{maks}} + 0$$

$$E_M = E_{K\text{maks}}$$

Maka:

$$E_M = E_{P\text{maks}} = E_{K\text{maks}}$$

❖ Pada tinggi  $y = \frac{1}{2}y_{\text{maks}}$ , (kecepatannya  $v$ )

$$E_P = m g (\frac{1}{2}y_{\text{maks}})$$

$$= \frac{1}{2} m g y_{\text{maks}}$$

$$= \frac{1}{2} E_{P_{\text{maks}}}$$

$$E_P = \frac{1}{2} E_M$$

Dari hukum kekekalan energi:

$$E_M = E_P + E_K$$

$$E_K = E_M - E_P$$

$$E_K = E_M - \frac{1}{2} E_M$$

$$E_K = \frac{1}{2} E_M$$

Dimana:

$E_M$  : energi mekanik

$E_{K_{\text{maks}}}$  : energi kinetik maksimum

$E_{K_{\text{min}}}$  : energi kinetik minimum

$E_{P_{\text{maks}}}$  : energi potensial maksimum

$E_{P_{\text{min}}}$  : energi potensial minimum

## Evaluasi

### Contoh Soal

1. Sebuah peti massanya 50kg ditarik diatas lantai horizontal sejauh 40m dengan gaya sebesar 100N dan membentuk sudut  $37^0$ , karena permukaan lantainya kasar maka timbul gaya gesekan sebesar 50N. Hitunglah kerja yang dilakukan masing-masing gaya dan kerja total yang dilakukan pada peti.
2. Sebuah bola massanya **450gram** dijatuhkan bebas dari atas gedung yang tingginya **8m** ke dasar gedung.
  - a. Berapa energi potensial maksimum dan minimum yang diperlukan bola tersebut.
  - b. Berapa kerja yang dilakukan untuk menjatuhkan bola tersebut sampai ke dasar gedung.

### Kunci Jawaban

1. Dik:  $m = 50 \text{ kg}$

$$d = 40\text{m}$$

$$F_T = 100\text{N ( gaya tarik )}$$

$$F_{fr} = 50\text{N ( gaya gesekan )}$$

Dit :

- $W_F$  (kerja yang dilakukan oleh gaya tarik)
- $W_{fr}$  (kerja yang dilakukan oleh gaya friksi/gesekan)
- $W_{Total}$  (kerja total yang dilakukan untuk memindahkan peti)

Penyelesaian:

$$W_F = F_T \cdot d \cdot \cos \theta$$

$$= 100\text{N} \cdot 40\text{m} \cdot \cos 37^0$$

$$= \mathbf{3200 \text{ J}} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Kerja Positif}$$

$$\begin{aligned}
 W_{fr} &= F_{fr} \cdot d \cdot \cos \theta \\
 &= 50\text{N} \cdot 40\text{m} \cdot \cos 180^\circ \\
 &= \mathbf{-2000\text{J}} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{\text{Kerja Negatif}}
 \end{aligned}$$

Gaya Friksi/gesekan adalah gaya yang timbul karena gesekan permukaan benda dengan permukaan lantai, yang berlawanan arah dengan pergerakan

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Total}} &= W_F + W_{fr} \\
 &= 3200\text{J} + (-2000\text{J}) \\
 &= 1200\text{J}
 \end{aligned}$$

2. Dik:  $m = 450\text{gr} = 0,45\text{kg}$   
 $y_{\text{maks}} = 8\text{m}$   
 $y_{\text{min}} = 0$  (dasar gedung)

Dit:

- a.  $E_{p_{\text{maks}}}$  dan  $E_{p_{\text{min}}} = \dots?$   
 b.  $W_{\text{total}} = \dots?$

Penyelesaian:

- a.  $E_{p_{\text{maks}}} = m g y_{\text{maks}} = 0,45\text{kg} (9,81\text{m/s}^2)(8\text{m}) = \mathbf{35,32\text{J}}$   
 $E_{p_{\text{min}}} = m g y_{\text{min}} = 0,45\text{kg} (9,81\text{m/s}^2)(0) = \mathbf{0}$
- b.  $W_{\text{total}} = E_{p_{\text{maks}}} - E_{p_{\text{min}}} = \mathbf{35,32\text{J}}$

## Tugas :

Kerjakan soal berikut:

1. Sebuah gerbong kereta api massanya **10ton** bergerak dengan kecepatan **12m/s** menabrak gerbong sejenis yang diam. Sebagai akibat tumbukan keduanya menyatu dan bergerak bersama, hitung kecepatan kedua gerbong setelah tumbukan
2. Berapa besar gaya total yang diperlukan untuk memberhentikan sebuah mobil yang massanya **2 ton** dari kecepatan **28m/s** dalam jarak **55m**
3. Jika gaya tarik ( $F_T$ ) yang diperlukan untuk memindahkan peti pada gambar diatas sebesar **800N** terjadi percepatan sebesar **0,35m/s<sup>2</sup>**.
  - a. hitunglah gaya gesekan (friksi) yang timbul karena gesekan antara permukaan lantai dengan peti tersebut
  - b. dan jika kerja yang dilakukan gaya tarik sebesar **5100J**, berapa jauhkah peti tersebut berpindah
4. Sebuah mobil massanya **2ton** bergerak mengalami perubahan kecepatan dari **50km/jam** menjadi **100km/jam**.
  - a. Berapa energi kinetik awal dan akhir yang dikeluarkan mobil tersebut.
  - b. Berapa kerja yang dilakukan untuk merubah kecepatan mobil tersebut
5. Sepotong batu yang massanya **100gr** dijatuhkan bebas dari ketinggian **12m**

Hitunglah :

- a. Energi potensial minimum dan maksimum batu tersebut
- b. Energi kinetik minimum dan maksimum batu tersebut
- c. Energi mekanik dan kerja total untuk menjatuhkan batu tersebut
- d. Energi kinetik dan kecepatan batu tersebut ketika mencapai ketinggian setengah dari tinggi maximum ( $y = \frac{1}{2}y_{maks}$ )

## V. GERAK ROTASI

**Gerak Rotasi** ( melingkar ) adalah gerak suatu benda yang membentuk lintasan berupa lingkaran mengelilingi suatu titik tetap yang disebut sumbu.

Gerak rotasi terbagi 2 yaitu:

- Rotasi pada sumbu tetap ( Analog dengan gerak lurus/translasi )
- Rotasi pada sumbu tidak tetap ( kombinasi antara gerak rotasi dan translasi )

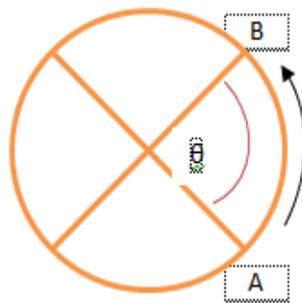
### GERAK ROTASI PADA SUMBU TETAP

#### 5.1. Kinematika Rotasi

Besaran-besaran yang mendeskripsikan suatu gerak rotasi adalah  $\theta$ ,  $\omega$ ,  $\alpha$  atau berturut-turut berarti **perpindahan rotasi sudut**, **kecepatan sudut** dan **percepatan sudut**. Besaran-besaran ini bila dianalogikan dengan gerak linier setara dengan posisi, kecepatan dan percepatan atau dilambangkan berturut-turut dengan  $x$ ,  $v$  dan  $a$

##### 5.1.1 Perpindahan Rotasi Sudut, $\theta$

Sebuah benda berotasi dari titik A ke titik B mengalami perubahan posisi mengikuti lintasan melingkar seperti pada gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1. Sebuah benda berotasi dari titik A ke titik B

Benda yang berjarak R dari sumbu berotasi, perpindahan rotasi sudutnya dari titik A ke B sebesar:

$$\theta = \frac{L}{R} \dots\dots\dots(5.1)$$

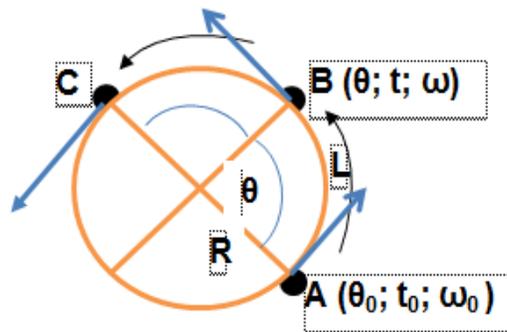
dimana: L = panjang lintasan dari A ke B (m)

R = jari- jari (m)

$\theta$  = Perpindahan rotasi sudut ( radian = rad)

**5.1.2. Kecepatan Sudut,  $\omega$  ( rad/s)**

Benda posisi awalnya di A dengan posisi sudut ( $\theta_0$ ), dalam waktu awal ( $t_0$ ) dan kecepatan sudut awal ( $\omega_0$ ), berotasi sampai di B dengan posisi sudut ( $\theta$ ), dalam waktu (t) dan kecepatan sudut akhir ( $\omega$ ) seperti pada gambar 5.2.



Gambar 5.2. Benda berotasi dari titik A ke titik B mengalami perubahan kecepatan sudut

- Perubahan posisi sudut dari  $\overline{AB}$  :  $\theta - \theta_0 = \Delta\theta$
- Perubahan waktu dari  $\overline{AB}$  :  $t - t_0 = \Delta t$
- Kecepatan sudut saat di A =  $\omega_0$
- Kecepatan sudut saat di B =  $\omega$
- Perubahan kecepatan sudut dari  $\overline{AB}$  :  $\omega - \omega_0 = \Delta\omega$

**a. Kecepatan sudut rata-rata,  $\bar{\omega}$**

**Kecepatan sudut rata-rata adalah perbandingan perubahan posisi sudut terhadap perubahan waktu**

Atau dapat dinyatakan :  $\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$  .....(5.2)

**b. Kecepatan sudut sesaat,  $\omega$**

**Kecepatan sudut sesaat merupakan kecepatan sudut rata-rata dengan perubahan waktu yang sangat kecil ( $\Delta t \rightarrow 0$ ) sehingga dapat dinyatakan sebagai nilai limit dari kecepatan sudut rata-rata:**

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots (5.3)$$

**kecepatan sudut sesaat merupakan turunan (diferensial) dari posisi sudut**

**5.1.3 Percepatan sudut,  $\alpha$  ( rad/s<sup>2</sup> )**

**a. Percepatan sudut rata-rata,  $\bar{\alpha}$**

**Percepatan sudut rata-rata perbandingan perubahan kecepatan sudut terhadap perubahan waktu**

Atau dapat dinyatakan :  $\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0}$  .....(5.4)

**b. Percepatan sudut sesaat,  $\alpha$**

Percepatan sudut sesaat merupakan percepatan sudut rata-rata dengan perubahan waktu yang sangat kecil ( $\Delta t \rightarrow 0$ ) sehingga dapat dinyatakan sebagai nilai limit dari kecepatan sudut rata-rata:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\alpha} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

**Percepatan sudut sesaat merupakan turunan (diferensial) dari kecepatan sudut.**

## 5.2 Gerak Rotasi dengan Percepatan Sudut Konstan (GRBB)

Karena gerak rotasi pada sumbu tetap analog dengan gerak translasi (lurus) maka persamaan-persamaan GLBB pada gerak translasi juga analog dengan persamaan-persamaan GRBB pada gerak rotasi, sehingga dapat dinyatakan persamaan GRBB sbb:

1.  $\omega = \omega_0 + \alpha t$
2.  $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
3.  $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha (\theta - \theta_0)$

dimana:

$\omega$  = kecepatan sudut akhir (rad/s atau rpm)

$\omega_0$  = kecepatan sudut awal (rad/s atau rpm)

$\alpha$  = percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)

$\theta_0$  = posisi sudut awal (radian atau putaran)

$\theta$  = posisi sudut akhir (radian atau putaran)

t = waktu (s)

### **catatan: konversi satuan**

$$1 \text{ putaran} = 360^\circ = 2\pi \rightarrow \pi = 180^\circ = 3,14 \text{ radian}$$

$$1 \text{ putaran} = 6,28 \text{ radian}$$

$$1 \text{ rpm} = 1 \text{ putaran per menit} = 1 \times \frac{6,28}{60} \text{ rad/s}$$

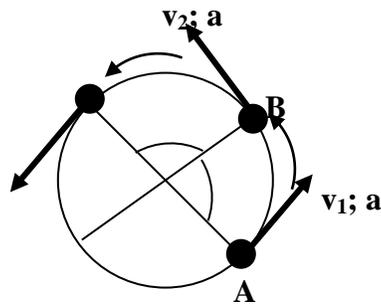
$$1 \text{ rad/s} = 1 \times \frac{60}{6,28} \text{ rpm}$$

$\alpha$  (alpha)

$\omega$  (omega)

$\theta$  (tetha)

### 5.3 Hubungan Gerak Rotasi Dengan Gerak Translasi



Gambar 5.3. Benda berotasi dari titik A ke titik B mengalami perubahan kecepatan translasi

Setiap benda yang berotasi selain memiliki kecepatan sudut ( $\omega$ ) dan percepatan sudut ( $\alpha$ ) juga memiliki kecepatan translasi ( $v$ ) dan percepatan translasi ( $a$ ) yang arahnya tangensial terhadap lintasan melingkarnya, dimana besar **kecepatan translasinya** adalah :

$$v = \frac{\Delta L}{\Delta t} \longrightarrow \Delta L = R \Delta \theta$$
$$v = \frac{R \Delta \theta}{\Delta t}$$
$$v = R\omega \dots\dots\dots (5.6)$$

**kecepatan sudut memiliki arah yang sama, tetapi kecepatan translasi selalu mengalami perubahan arah**

dimana:

$v$  = kecepatan tangensial (m/s)

$R$  = jari-jari (m)

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

Dari persamaan (6) dapat diperoleh hubungan antara percepatan translasi (tangensial) terhadap percepatan sudut :

$$a_{\text{tan}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta R \omega}{\Delta t} = R \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \longrightarrow \mathbf{a_{\text{tan}} = R \alpha} \dots\dots\dots (5.7)$$

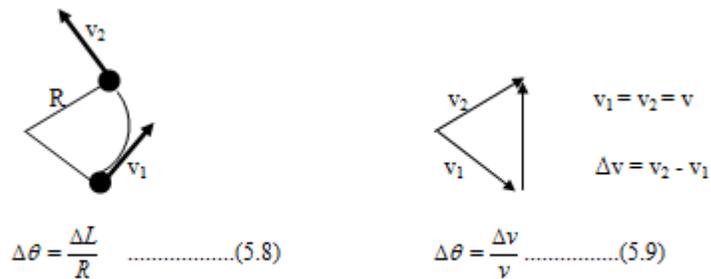
dimana:

$a_{\text{tan}}$  = percepatan tangensial (m/s<sup>2</sup>)

$R$  = jari-jari (m)

$\alpha$  = percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)

Selain mempunyai percepatan tangensial, benda yang berotasi juga mempunyai percepatan yang arahnya menuju pusat lingkaran yang disebut sebagai **percepatan radial (sentripetal)**.  
Gambaran analisa vektor dari percepatan sentripetal seperti terlihat pada gambar 5.4



Gambar 5.4 Gambaran analisa vektor dari percepatan sentripetal

Persamaan (5.9) sama dengan persamaan (5.8)

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta L}{R}$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{v}{R} \cdot v$$

$$\mathbf{a_R = \frac{v^2}{R} \quad \text{atau} \quad a_R = \omega^2 R} \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

Dimana:

$a_R$  = percepatan sentripetal ( $m/s^2$ )

$v$  = kecepatan tangensial (m/s)

$R$  = jari-jari (m)

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

Frekuensi adalah jumlah putaran per sekon, sehingga dapat dihubungkan dengan kecepatan sudut:

$$\begin{aligned} f &= \frac{\omega}{2\pi} \\ \omega &= 2\pi f \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5.11)$$

Waktu yang diperlukan untuk satu putaran disebut Periode (  $T$  ), sehingga dapat dihubungkan dengan frekuensi :

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{f} \\ f &= \frac{1}{T} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

## Evaluasi

### Contoh Soal:

Sebuah roda diameternya 70cm berotasi dari 160rpm sampai 280rpm dalam waktu 4s

Hitung :

- percepatan sudut yang dialami roda
- percepatan tangensial roda
- setelah berotasi 4s hitung percepatan sentripetalnya
- kecepatan tangensial setelah roda berotasi 4s
- jumlah putaran yang dihasilkan selama roda berotasi.

Penyelesaian:

Dik :

$$D = 70\text{cm} \rightarrow R = 35\text{cm} = 0,35\text{m}$$

$$\omega_0 = 160\text{rpm} = 16,75 \text{ rad/s} \rightarrow \text{kecepatan sudut awal}$$

$$\omega = 280\text{rpm} = 29,31 \text{ rad/s} \rightarrow \text{kecepatan sudut akhir}$$

$$t = 4\text{s}$$

Dit:

- $\alpha = \dots?$
- $a_{\text{tan}} = \dots?$
- $a_R = \dots?$
- $v = \dots?$
- $\theta = \dots?$

Penyelesaian:

$$\text{a. } \omega = \omega_0 + \alpha t \rightarrow \alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \frac{(29,31 - 16,75)\text{rad/s}}{4\text{s}} = \mathbf{3,14\text{rad/s}^2}$$

b.  $a_{\text{tan}} = R \alpha = 0,35\text{m}(3,14\text{rad/s}^2) = \mathbf{1,099\text{m/s}^2}$

c.  $a_R = \omega^2 R = (29,31)^2(0,35) = \mathbf{300,68\text{m/s}^2}$

d.  $v = \omega R = (29,31)(0,35) = \mathbf{10,26\text{m/s}}$

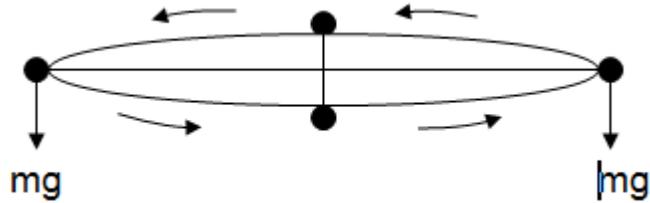
e.  $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$   
 $= 0 + 16,75(4) + \frac{1}{2} (3,14) (4^2)$   
 $= 92,12 \text{ rad}$   
 $= \frac{92,12}{6,28} \text{ putaran} = \mathbf{14,67 \text{ putaran}}$

#### 5.4. Dinamika Rotasi

Agar suatu benda dapat bergerak melingkar, benda membutuhkan adanya gaya yang selalu membelokkan-nya menuju pusat lintasan lingkaran. Gaya ini dinamakan gaya sentripetal. Suatu gerak melingkar beraturan dapat dikatakan sebagai suatu gerak dipercepat beraturan, mengingat perlu adanya suatu percepatan yang besarnya tetap dengan arah yang berubah dan selalu menuju ke pusat lingkaran yang disebut percepatan sentripetal, yang selalu mengubah arah gerak benda agar menempuh lintasan berbentuk lingkaran. Berdasarkan hukum Newton II, besar gaya sentripetal:

$$F_R = m \cdot a_R = m \cdot \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots(5.13)$$

Contoh 1: Sebuah bola yang diikat dengan sepotong tali dan diputar arah horizontal seperti pada gambar 5.5.



Gambar 5.5. Bola yang diikatkan pada sepotong tali diputar arah horizontal

Apabila bola diputar arah horizontal, besar gaya sentripetal yang bekerja, sama dengan tegangan tali yang bekerja untuk memutar bola yaitu sebesar:

$$F_T = \sum F_R = m \cdot a_R = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad \dots\dots\dots(5.14)$$

dimana:  $F_T$  = tegangan tali (N)

$mg$  = gaya gravitasi (diabaikan karena bola tidak jatuh)

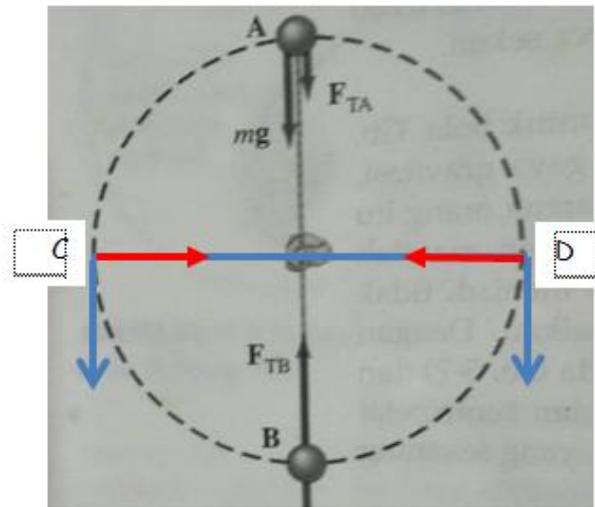
$m$  = massa (kg)

$a_R$  = percepatan sentripetal ( $m/s^2$ )

$v$  = kecepatan tangensial (m/s)

$R$  = jari-jari (m)

Contoh 2: Sebuah bola yang diikatkan dengan sepotong tali dan diputar arah vertikal seperti pada gambar 5.6.



Gambar 5.5. Bola yang diikatkan pada sepotong tali diputar arah vertikal

❖ Pada puncak lintasan (titik A):

Gaya total yang bekerja adalah :

$$\sum F_R = F_{TA} + m \cdot g = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Dan tegangan tali :

$$F_{TA} = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \quad \dots\dots\dots(5.15)$$

Pada puncak lintasan (titik A), **agar bola dapat berotasi kecepatan bola harus lebih besar dari kecepatan minimumnya**, dimana kecepatan minimum diperoleh jika tegangan tali ( $F_{TA}$ ) pada puncak lintasan **bernilai nol**, maka dari persamaan diatas diperoleh kecepatan minimum sebesar:

$$F_{TA} = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$$

$$0 = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$$

$$m \cdot \frac{v_{min}^2}{R} = m \cdot g$$

$$v_{min}^2 = g \cdot R$$

$$v_{min} = \sqrt{g \cdot R} \dots\dots\dots(5.16)$$

dimana :

$v_{min}$  = kecepatan minimum (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81m/s

$R$  = jari-jari (m)

❖ Pada dasar lintasan (titik B)

Gaya total yang bekerja adalah :

$$\sum F_R = F_{T_B} - m \cdot g = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Dan tegangan tali :

$$F_{T_B} = m \cdot \frac{v^2}{R} + m \cdot g \dots\dots\dots(5.17)$$

❖ Pada lintasan horizontal (titik C dan D):

$$\sum F_R = F_{T_C} = F_{T_D} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

**Evaluasi**

**Contoh Soal :**

Sebuah bola massanya **300gr** yang diikatkan pada sepotong tali panjangnya **85cm** diputar arah vertikal dengan kecepatan beraturan **4,15m/s**.

- a. Apakah menurut anda bola dapat berotasi

- b. Hitung tegangan tali ketika berada pada puncak lintasannya dan bawah lintasannya
- c. Hitung tegangan tali pada lintasan horizontalnya

Penyelesaian:

Dik :  $m = 300\text{gr} = 0,3 \text{ kg}$

$R = 85\text{cm} = 0,85\text{m}$  ( panjang tali sebagai jari-jari ketika bola diputar)

$v = 4,15\text{m/s}$

$g = 9,81\text{m/s}^2$

Dit: a.  $v_{\min} = \dots?$

b.  $F_{TA} = \dots?$  pada puncak lintasan

$F_{TB} = \dots?$  pada bawah lintasan

c.  $F_{TC}$  dan  $F_{TD} = \dots?$  pada lintasan horizontal

Penyelesaian:

a.  $v_{\min} = \sqrt{g \cdot R} = \sqrt{9,81\text{m/s}^2(0,85\text{m})} = 2,89\text{m/s}$

Karena bola akan diputar dengan kecepatan  $v = 4,15\text{m/s}$  **lebih besar** dari pada kecepatan minimumnya:  $v_{\min} = 2,89\text{m/s}$ , maka bola dapat berotasi.

b. Tegangan tali pada puncak lintasan:

$$\begin{aligned}
 F_{TA} &= m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \\
 &= (0,3\text{kg} \cdot \frac{(4,15\text{m/s})^2}{0,85\text{m}}) - (0,3\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2) \\
 &= (6,08\text{N} - 2,94\text{N}) = 3,14\text{N}
 \end{aligned}$$

Tegangan tali pada dasar lintasan:

$$\begin{aligned}
 F_{TB} &= m \cdot \frac{v^2}{R} + m \cdot g \\
 &= (0,3\text{kg} \cdot \frac{(4,15\text{m/s})^2}{0,85\text{m}}) + (0,3\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2) \\
 &= (6,08\text{N} + 2,94\text{N}) = 9,02\text{N}
 \end{aligned}$$

c. Tegangan tali pada lintasan horizontal:

$$F_{T_c} = F_{T_D} = m \cdot \frac{v^2}{R} = \left( 0,3kg \cdot \frac{(4,15m/s)^2}{0,85m} \right) = \mathbf{6,08 N}$$

## 5.5. Penerapan Fisika Untuk Gaya Sentripetal

**Contoh 1 :** Sebuah mobil melewati jalan Tikungan Datar

Suatu contoh percepatan sentripetal ketika sebuah mobil melewati jalan tikungan datar. Pada keadaan seperti ini penumpang seperti terdorong keluar, karena penumpang cenderung bergerak dalam garis lurus sementara mobil bergerak mengikuti lintasan melingkar.

Untuk membuat penumpang bergerak dalam lintasan melingkar, tempat duduk atau pintu mobil memberi gaya pada penumpang ( terjadi gesekan tempat duduk penumpang ).

### Evaluasi

**Contoh Soal :**

1. Sebuah mobil massanya **2ton** melewati jalan tikungan yang datar dengan radius (jari-jari) **50m** dengan kecepatan **50km/jam**. **Apakah mobil dapat melewati jalan tikungan tersebut atau apakah mobil akan tergelincir, jika :**
  - a. jalan tersebut kering (  $\mu_s = 0,6$  )
  - b. jalan tersebut basah (  $\mu_s = 0,25$  )

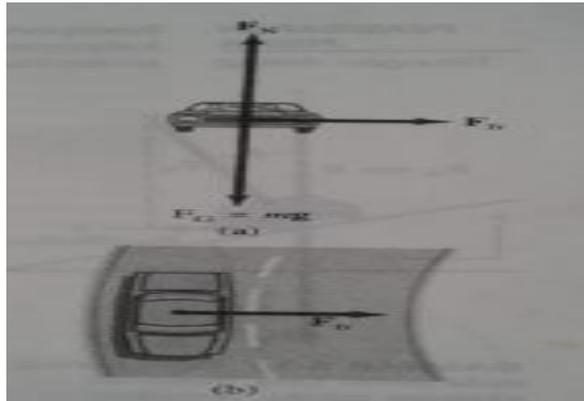
Dik :

$$m = 2\text{ton} = 2000\text{kg}$$

$$v = 50\text{km/jam} = 13,89\text{m/s}$$

$$R = 50\text{m}$$

Penyelesaian:



Gambar 5.6. Analisa gaya yang bekerja pada sebuah mobil yang melewati jalan tikungan

Dari gambar 5.6 Gaya-gaya yang bekerja pada mobil:

- Gaya normal ( $F_N$ ) : gaya yang diberikan oleh permukaan jalan ke mobil yang arahnya tegak lurus terhadap permukaan jalan
- Gaya gravitasi ( $F_G = mg$ ) mobil yang arahnya kebawah
- Gaya Friksi/Gesekan ( $F_{fr}$ ) : gaya gesekan yang terjadi karena mobil melewati jalan tikungan yang arahnya menuju pusat tikungan
- Gaya Sentripetal ( $F_R$ ) : gaya yang bekerja ketika mobil melewati jalan tikungan yang arahnya menuju kepusat tikungan

Syarat agar mobil dapat melewati jalan tikungan/tidak tergelincir bahwa:

$$F_{fr} \geq F_R$$

a. Untuk jalan kering ( koefisien gesekan :  $\mu_s = 0,6$  )

**Arah horizontal :**

➤ gaya friksi :  $F_{fr} = \mu_s \cdot F_N \rightarrow F_N = F_G = mg$

$$= \mu_s m g$$

$$= 0,6 (2000\text{kg})(9,81\text{m/s}^2)$$

$$= \mathbf{11772\text{N}}$$

➤ Gaya Sentripetal

$$F_R = m \cdot \frac{v^2}{R} = 2000\text{kg} \left[ \frac{(13,89\text{m/s})^2}{50\text{m}} \right] = \mathbf{7717,28\text{N}}$$

Karena  $F_{fr}$  **lebih besar** dari  $F_R$  maka mobil **dapat** melewati jalan tikungan tersebut (**tidak tergelincir**) dengan kecepatan **50km/jam**.

**Kecepatan maksimum** untuk mobil agar dapat melewati jalan tikungan tersebut :

$$F_{fr} = m \cdot \frac{v_{maks}^2}{R}$$

$$v_{maks}^2 = \frac{F_{fr} \cdot R}{m}$$

$$v_{maks} = \sqrt{\frac{F_{fr} \cdot R}{m}} = \sqrt{\frac{11772(50)}{2000}} = \mathbf{17,16\text{m/s} = 61,76\text{km/jam}}$$

b. Untuk jalan basah ( koefisien gesekan :  $\mu_s = 0,25$  )

**Arah horizontal :**

➤ gaya friksi

$$F_{fr} = \mu_s \cdot F_N \quad \rightarrow \quad F_N = F_G = mg$$

$$= \mu_s m g$$

$$= 0,25 (2000\text{kg})(9,81\text{m/s}^2)$$

$$= \mathbf{4905N}$$

➤ Gaya Sentripetal

$$F_R = m \cdot \frac{v^2}{R} = 2000 \left[ \frac{(13,89)^2}{50} \right] = \mathbf{7717,28N}$$

Karena  $F_{fr}$  **lebih kecil** dari  $F_R$  maka mobil **tidak dapat** melewati jalan tikungan tersebut (**tergelincir**) dengan kecepatan **50km/jam**.

**Kecepatan maksimum** untuk mobil agar dapat melewati jalan tikungan tersebut :

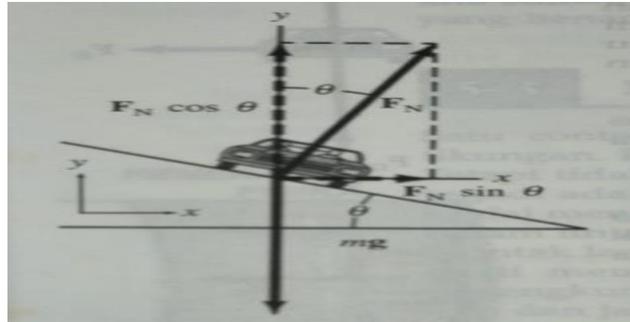
$$F_{fr} = m \cdot \frac{v_{maks}^2}{R}$$

$$v_{maks}^2 = \frac{F_{fr} \cdot R}{m}$$

$$v_{maks} = \sqrt{\frac{F_{fr} \cdot R}{m}} = \sqrt{\frac{4905(50)}{2000}} = \mathbf{11,07m/s = 39,87km/jam}$$

**CONTOH 2** : Mobil melewati jalan tikungan miring

Kemiringan tikungan dapat memperkecil kemungkinan tergelincir karena gaya normal jalan (bekerja tegak lurus terhadap mobil) akan memiliki komponen kearah pusat tikungan, dengan demikian memperkecil ketergantungan akan gesekan, seperti terlihat pada gambar 5.7



Gambar 5.7. Analisa gaya yang bekerja pada sebuah mobil yang melewati jalan tikungan miring

Komponen gaya normal ( $F_N$ ) arah horizontal :  $F_N \sin \theta$

Komponen gaya normal ( $F_N$ ) arah vertikal :  $F_N \cos \theta$

Untuk suatu bidang jalan dengan kemiringan tertentu ( $\theta$ ) maka ada satu kecepatan dimana tidak diperlukan gesekan sama sekali, hal ini terjadi jika komponen horizontal gaya normal menuju kearah pusat tikungan (sentripetal) yaitu:

$$F_R = m \cdot \frac{v^2}{R} = F_N \sin \theta \rightarrow F_N = \frac{m \cdot v^2}{R \sin \theta}$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot g \cdot \sin \theta \rightarrow v = \text{kecepatan rancangan}$$

ANALISA GAYA:

➤ Arah Horizontal:

$$F_R = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$F_N \sin \theta = m \cdot \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots(1)$$

➤ Arah Vertikal:

$$\sum F_y = m \cdot a \rightarrow a = 0 \text{ ( tidak bergerak arah vertikal)}$$

$$F_N \cos \theta - mg = 0$$

$$F_N \cos \theta = mg$$

$$F_N = \frac{mg}{\cos \theta} \dots\dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (2) ke persamaan (1):

$$\frac{m \cdot g}{\cos \theta} [\sin \theta] = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{g \cdot \sin \theta}{\cos \theta} = \frac{v^2}{R}$$

$$g \tan \theta = \frac{v^2}{R}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{g \cdot R}$$

**Sudut kemiringan jalan tikungan:**

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{v^2}{g \cdot R} \right)$$

**Kecepatan rancangan pada jalan tikungan miring:**

$$v = \sqrt{g \cdot R \cdot \tan \theta}$$

Dimana:

v = kecepatan rancangan (m/s)

g = 9,81 m/s<sup>2</sup>

R = jari-jari/radius jalan (m)

θ = sudut kemiringan jalan (°)

## Evaluasi

### Contoh soal:

1. Sebuah mobil massanya **2ton** melewati jalan tikungan yang miring dengan radius (jari-jari) **50m**. Berapakah sudut kemiringan jalan agar mobil dengan kecepatan **50km/jam** tidak tergelincir ketika melewati jalan tersebut.

Dik :

$$R = 50\text{m}$$

$$v = 50\text{km/jam} = 13,89\text{m/s}$$

Dit :  $\theta = \dots\dots?$

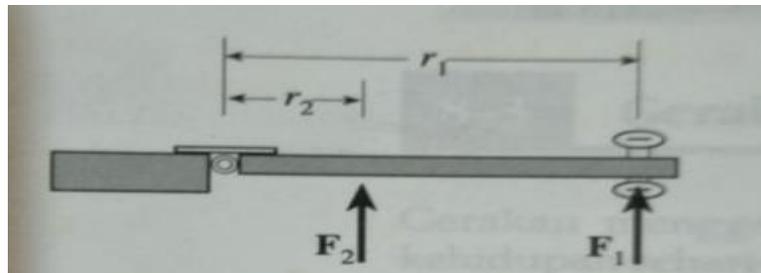
Penyelesaian :

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v^2}{g \cdot R}\right) = \tan^{-1}\left[\frac{(13,89)^2}{9,81(50)}\right] = \tan^{-1}(0,39) = \mathbf{21,31^\circ}$$

## 5.6. Torsi (Torka)

Untuk membuat benda berotasi disekitar sumbu diperlukan gaya yang bergantung arah gaya dan letak dimana gaya tersebut diberikan.

**Contoh 1:** membuka dan menutup pintu jika gaya yang diberikan tegak lurus



Gambar 5.8 Gaya tegak lurus yang diberikan pada pintu pada jarak  $R_1$  dan  $R_2$

Gaya yang diberikan untuk membuka/menutup pintu tegak lurus terhadap pintu seperti terlihat pada gambar 5.8.

- Pada jarak  $R_1$  dengan gaya dorong  $F_1$  : pintu lebih cepat terbuka
  - Pada jarak  $R_2$  dengan gaya dorong  $F_2$  : pintu lebih lama terbuka
- dengan besar :  $F_1 = F_2 \rightarrow$  (percepatan sudut tidak sama)

Jika dibuat:  $R_1 = 3R_2$  maka besar:  $F_2 = 3F_1$  untuk membuat percepatan sudut yang sama ketika membuka pintu.

Percepatan sudut pintu berbanding lurus dengan gaya  $F$  dan jarak tegak lurus dari sumbu ke garis gaya.

Jarak tegak lurus ini disebut **lengan gaya** atau **lengan torsi**.

**Hasil kali gaya dengan lengan gaya disebut Torsi dan dinyatakan dengan:**

$$\begin{aligned} \tau &= F_{\perp} \cdot R \rightarrow \tau : \text{dibaca tau} \\ \tau &= R \cdot F_{\perp} \dots\dots\dots(5.16) \end{aligned}$$

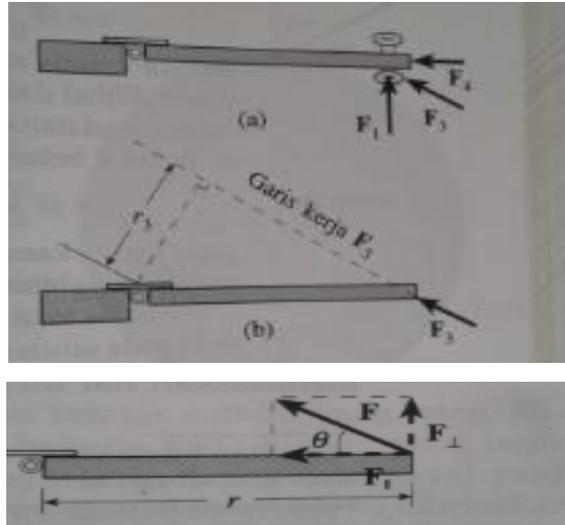
dimana:

$\tau$  = torsi (Nm)

$F_{\perp}$  = gaya tegak lurus (N)

$R$  = lengan gaya (m)

**Contoh 2:** membuka dan menutup pintu jika gaya yang diberikan tidak tegak lurus atau membentuk sudut



Gambar 5.9 Gaya yang diberikan membentuk sudut terhadap jarak R

Jika gaya yang diberikan untuk membuka pintu tidak tegak lurus terhadap pintu atau gaya yang diberikan membentuk sudut terhadap lengan gaya, berdasarkan analisa vektor dan fungsi trigonometri maka gaya tegak lurusnya :  $F_{\perp} = F \sin \theta$

**Maka besar torsi yang diperlukan untuk membuka pintu adalah:**

$$\tau = F_{\perp} \cdot R$$

$$\tau = F \sin \theta (R)$$

$$\tau = R \cdot F \sin \theta \dots\dots\dots(5.17)$$

dimana:

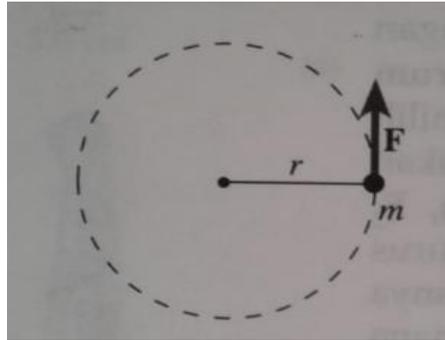
$\tau$  = torsi (Nm)

F = gaya (N)

R = lengan gaya (m)

$\theta$  = sudut yang dibentuk oleh gaya dan lengan gaya ( $^{\circ}$ )

## 5.7. Momen Inersia



Gambar 5.10 Gaya tegak lurus yang diberikan pada benda yang akan berotasi

Sebuah benda massanya  $m$  berotasi membentuk lingkaran dengan radius  $R$  seperti pada gambar 5.10, gaya tegak lurus yang bekerja pada benda tersebut sebesar  $F$ , maka torsi yang diberikan sebesar:

$$\begin{aligned} \tau &= R \cdot F_{\perp} \rightarrow F_{\perp} = m a_{\text{tan}} \quad (\text{hukum Newton II}) \\ &= R \cdot m \cdot a_{\text{tan}} \rightarrow a_{\text{tan}} = \alpha R \\ &= R \cdot m \cdot \alpha \cdot R \\ \tau &= m \cdot \alpha \cdot R^2 \end{aligned}$$

$$\tau = I \cdot \alpha \quad \dots\dots\dots(5.18)$$

Dimana :

$$I = m \cdot R^2 \quad \dots\dots\dots(5.19)$$

→ **Inersia Rotasi (momen inersia)**

Dimana:

$\tau$  = torsi (Nm)

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

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

$R$  = jari-jari/radius (m)

Jika ada beberapa benda berotasi pada sumbu yang sama maka torsi total yang bekerja dinyatakan :

$$\sum \tau = \sum (mR^2) \alpha$$

$$\Sigma \tau = I \cdot \alpha \dots\dots\dots(5.20)$$

→ rotasi pada sumbu tetap

Dimana :

$$I = \Sigma(mR^2) = m_1R_1^2 + m_2R_2^2 + m_3R_3^2 + \dots$$

### Evaluasi

Contoh Soal :

Dua beban dengan massa 0,5kg dan 0,7kg diletakkan pada jarak 40cm satu sama lain, keduanya dihubungkan dengan sebuah tongkat, hitung momen inersia sistem jika:

- a. diputar disekitar sumbu yang berada ditengah-tengah kedua beban
- b. diputar pada massa 0,5kg sebagai sumbu rotasi.
- c. diputar pada massa 0,7kg sebagai sumbu rotasi

a. Dik :

$$m_1 = 0,5\text{kg}$$

$$m_2 = 0,7\text{kg}$$

karena diputar pada sumbu yang berada ditengah kedua beban maka:

$$R_1 = 20\text{cm} = 0,2\text{m}$$

$$R_2 = 20\text{cm} = 0,2\text{m}$$

Dit : I = .....?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} I &= \Sigma(mR^2) = m_1R_1^2 + m_2R_2^2 \\ &= 0,5(0,2)^2 + 0,7(0,2)^2 \\ &= \mathbf{0,048\text{kgm}^2} \end{aligned}$$

b. Dik :

$$m_1 = 0,5\text{kg}$$

$$m_2 = 0,7\text{kg}$$

karena diputar pada  $m_1$  sebagai sumbu putar maka:

$$R_1 = 0$$

$$R_2 = 40\text{cm} = 0,4\text{m}$$

Dit :  $I = \dots?$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} I &= \sum(mR^2) = m_1R_1^2 + m_2R_2^2 \\ &= 0,5(0)^2 + 0,7(0,4)^2 \\ &= \mathbf{0,112\text{kgm}^2} \end{aligned}$$

c. Dik :

$$m_1 = 0,5\text{kg}$$

$$m_2 = 0,7\text{kg}$$

karena diputar pada  $m_2$  sebagai sumbu putar maka:

$$R_1 = 40\text{cm} = 0,4\text{m}$$

$$R_2 = 0$$

Dit :  $I = \dots?$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} I &= \sum(mR^2) = m_1R_1^2 + m_2R_2^2 \\ &= 0,5(0,4)^2 + 0,7(0)^2 \\ &= \mathbf{0,08\text{kgm}^2} \end{aligned}$$

**Catatan :**

Jika diputar pada sumbu yang berbeda maka besar momen inersia juga berbeda

Momen inersia bola :  $I = \frac{2}{5}mR^2$

Momen Inersia Silinder  $I = \frac{1}{2}mR^2$

### 5.8. Energi Kinetik Rotasi

Benda yang berotasi mengelilingi sebuah sumbu memerlukan energi kinetik rotasi yang analog dengan **energi kinetik translasi** ( $E_{KT}$ ) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{KT} = \frac{1}{2}mv^2 \quad \rightarrow \quad \text{dimana : } v = R\omega$$

$$E_{KT} = \frac{1}{2}m(R\omega)^2$$

$$E_{KT} = \frac{1}{2}m\omega^2 R^2 \quad \rightarrow \quad \text{dimana : } I = mR^2$$

Maka **Energi Kinetik Rotasi** ( $E_{KR}$ ) dinyatakan:

$$E_{KR} = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad \dots\dots\dots(5.21)$$

Dimana :

$E_{KR}$  = energi kinetik rotasi (J)

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

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

Sebuah benda yang berotasi sementara pusat massanya mengalami translasi ( benda yang menggelinding), maka benda tersebut memiliki energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi sekaligus.

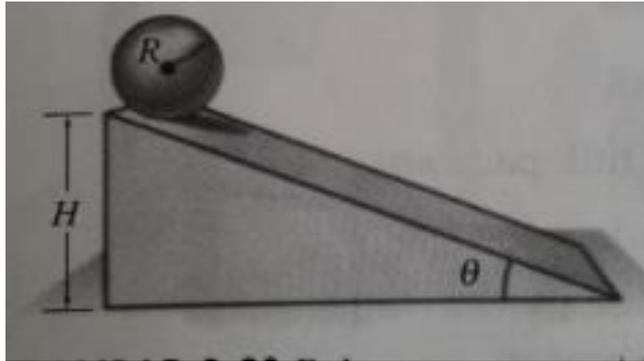
Dengan demikian energi kinetik totalnya sebesar:

$$E_K = E_{KT} + E_{KR}$$

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad \dots\dots\dots(5.22)$$

## Analisa hukum kekekalan energi

Contoh: Bola yang radiusnya  $R$  menggelinding menurun di bidang miring



Gambar 5.11 Bola digelindingkan pada bidang miring dari ketinggian  $H$

### ➤ Posisi Puncak Lintasan:

Kecepatan tangensial awal,  $v_0 = 0$

Kecepatan sudut awal,  $\omega_0 = 0$

Ketinggian :  $y = H$

Maka :

$$Energ\ i\ Total = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}I\omega_0^2 + mgy = mgH \dots\dots\dots(1)$$

### ➤ Posisi Dasar Lintasan:

Kecepatan tangensial =  $v$

Kecepatan sudut =  $\omega$

Ketinggian :  $y = 0$

Maka :

$$Energ\ i\ Total = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 + mgy = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \dots\dots\dots(2)$$

Berdasarkan hukum kekekalan energi maka:

**Energi Total di Posisi Puncak Lintasan = Energi Total di Posisi Dasar Lintasan**

$$mgH = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad \rightarrow I_{bola} = \frac{2}{5}mR^2 \quad \text{dan} \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$mgH = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left[\frac{2}{5}mR^2\right]\left[\frac{v}{R}\right]^2$$

$$gH = \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{2}\left[\frac{2}{5}R^2\right]\frac{v^2}{R^2}$$

$$gH = \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{5}v^2$$

$$gH = \frac{5}{10}v^2 + \frac{2}{10}v^2$$

$$gH = \frac{7}{10}v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7}g \cdot H} \quad \dots\dots\dots(5.23)$$

→ kecepatan bola ketika berada pada ketinggian H

Catatan : ketinggian H dihitung dari posisi puncak lintasan

### Evaluasi

#### Contoh Soal:

1. Sebuah bola bowling massanya 7,3kg dan radius 9cm menggelinding tanpa slip melintasi jalur dengan kecepatan 4,5m/s.

Hitung energi kinetik total yang diperlukan ketika bola menggelinding.

Dik :

$$m = 7,3\text{kg}$$

$$R = 9\text{cm} = 0,09\text{m}$$

$$v = 4,5\text{m/s}$$

Dit :

$$E_K = \dots\dots\dots?$$

Penyelesaian:

$$I_{bola} = \frac{2}{5}mR^2 = \frac{2}{5}(7,3)(0,09)^2 = 0,024kgm^2$$

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{4,5}{0,09} = 50rad/s$$

Maka energi kinetik totalnya:

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

$$E_K = \frac{1}{2}(7,3)(4,5)^2 + \frac{1}{2}(0,024)(50)^2$$

$$E_K = 73,91 + 30 = \mathbf{103,91 J}$$

2. Bola pada soal no.1 digelindingkan pada bidang miring dari ketinggian 50cm. Hitung kecepatan yang dialami bola ketika mencapai ketinggian 20cm.

Penyelesaian:

$$v = \sqrt{\frac{10}{7} g \cdot H} \rightarrow H = 50cm - 20cm = 30cm = 0,3m$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7} (9,81)(0,3)} = \mathbf{2,05 m/s}$$

3. Dari soal no.2 hitung energi total yang diperlukan.

## Tugas :

1. Rotor pemusing dipercepat dari keadaan diam sampai **20000 rpm** dalam waktu **5menit**, berapa percepatan sudut rata-ratanya. Dan berapa jumlah putaran yang dihasilkan rotor pemusing tersebut selama mengalami percepatan, jika percepatan sudutnya konstan.
2. Roda dengan diameter **40cm** dipercepat beraturan dari **240rpm** sampai **360rpm** dalam waktu **6,5s**.
  - a. Hitung percepatan tangensial yang dilakukan roda selama berputar
  - b. Berapa putaran yang dilakukan roda selama mengalami percepatan
3. Sebuah bola massanya **150gr** yang diikatkan pada sepotong tali panjangnya **110cm** diputar arah vertikal membentuk lingkaran
  - a. Hitung kecepatan minimum yang harus dimiliki bola agar bola dapat berotasi
  - b. Jika bola diputar dengan kecepatan 2 kali kecepatan minimumnya:
    - Hitung tegangan tali ketika berada pada puncak lintasannya dan bawah lintasannya
    - Hitung tegangan tali pada lintasan horizontalnya
4. Anda sedang merancang perencanaan pembuatan jalan tikungan datar dengan radius **65m**, koefisien gesekan antara ban kendaraan dengan jalan sebesar **0,3 (jika jalan basah)**.
  - a. Apakah mobil yang massanya **3ton** dengan kecepatan  $v = \dots\dots?$  (tentukan sendiri besar kecepatannya) akan tergelincir (slip) ketika melewati tikungan tsb.
  - b. Dan berapakah kecepatan maksimum yang anda sarankan untuk jenis mobil tersebut agar ketika melewati tikungan tidak terjadi slip. ( $g = 9,81\text{m/s}^2$ )

5. Tentukan sudut kemiringan jalan tikungan miring yang radiusnya **75m** dengan **kecepatan rancangan yang anda tentukan sendiri**, dan jelaskan alasannya kenapa anda memilih kecepatan rancangan tersebut dan pada kondisi dimana jalan tsb. ( $g = 9,81\text{m/s}^2$ )

6. Roda penggiling berbentuk silinder massanya **0,58kg** dengan radius **8,5cm**

Hitung :

- a. momen inersia roda jika diputar disekitar pusat roda ( $I_{\text{silinder}} = \frac{1}{2}mR^2$ )
  - b. torsi yang diperlukan untuk mempercepat roda dari keadaan **diam** sampai **1500rpm** dalam waktu **5s**
7. Sebuah rotor pemusing memiliki momen inersia sebesar  **$3,15 \cdot 10^{-2} \text{kgm}^2$** , ketika berotasi dalam 8000rpm. Jika massa rotor tersebut 5kg, hitung:
- a. radius rotor tersebut
  - b. kecepatan tangensial yang dialami rotor
  - c. **energi kinetik total** yang diperlukan oleh rotor tersebut

## VI FLUIDA

### Tujuan Materi Pembelajaran

Adapun tujuan pembelajaran dari materi kuliah ini sebagai berikut:

- a. Mahasiswa mampu menjelaskan pengertian fluida dan mampu mengklasifikasikan zat-zat yang termasuk dalam fluida
- b. Mahasiswa mampu menjelaskan bahwa fluida memberikan tekanan ke segala arah
- c. Mahasiswa mampu menganalisa hukum-hukum hidrostatis yaitu Prinsip Pascal dan Prinsip Archimedes dalam penerapan fisiknya.
- d. Mahasiswa mampu menjelaskan perbedaan aliran laminar dan aliran turbulen
- e. Mahasiswa mampu menganalisa dan menghitung laju aliran massa fluida yang bergerak berdasarkan hukum-hukum hidrodinamika

Zat dibedakan dalam 3 keadaan dasar (fase), yaitu:

1. Fase padat, zat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar dikerjakan pada benda padat.
2. Fase cair, zat tidak mempertahankan bentuk yang tetap melainkan mengikuti bentuk wadahnya. Tetapi seperti halnya fase padat, pada fase ini zat tidak dengan mudah dapat dimampatkan, dan volumenya dapat diubah hanya jika dikerjakan gaya yang sangat besar pada zat cair.
3. Fase gas, zat tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, tetapi akan berkembang mengisi seluruh wadah.

Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir; dengan demikian disebut fluida.

Dalam mekanika fluida akan dibahas sifat-sifat fluida yang berhubungan dengan kemampuannya untuk mengalir, meliputi **statika fluida** untuk zat alir yang diam dan **dinamika fluida** untuk zat alir yang bergerak.

## 6.1. Hidrostatika (Statika Fluida)

### 6.1.1 Kerapatan dan Berat Jenis

Kerapatan (massa jenis) suatu benda didefinisikan sebagai massa per satuan volume, yang dinatakan dengan:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (6.1)$$

Dengan:

m = massa benda (kg)

V = volume benda (m<sup>3</sup>)

ρ = kerapatan/massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

Sedangkan Berat jenis suatu benda didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan benda tersebut terhadap kerapatan air pada suhu 4<sup>0</sup>C.

Dan dinyatakan dengan:  $BJ = \frac{\rho_{benda}}{\rho_{air}} \dots\dots\dots(6.2)$

Berat jenis adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan.

### 6.1.2 Tekanan Dalam Fluida

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(6.3)$$

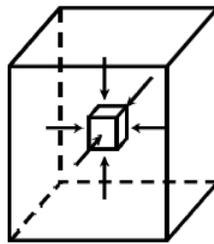
Satuan tekanan adalah N/m<sup>2</sup> atau pascal (Pa).

Sebagai contoh perhitungan tekanan, seorang dengan berat 60 kg yang kedua telapak kakinya menutupi luasan 500 cm<sup>2</sup> akan mengakibatkan tekanan terhadap tanah sebesar:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{60kg \cdot 9,81m/s^2}{500 \cdot 10^{-4}m^2} = 11771N/m^2$$

Jika orang tersebut berdiri dengan satu kaki, gayanya akan tetap sama tetapi karena luasannya menjadi setengah, maka tekanannya akan menjadi dua kalinya yaitu 23544N/m<sup>2</sup>

Fluida menggunakan tekanan ke semua arah seperti terlihat pada gambar 6.1. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Tekanan pada salah satu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika tidak sama, jumlah gaya yang bekerja tidak akan sama dengan nol, dan benda akan bergerak sampai tekanan yang bekerja menjadi sama.

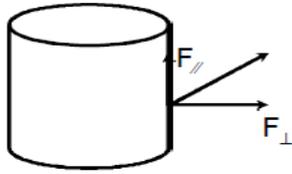


Gambar 6.1. Benda kubus dicelupkan dalam fluida

Sifat penting lain pada fluida diam adalah gaya yang disebabkan oleh tekanan fluida selalu bekerja secara tegak lurus terhadap setiap permukaan yang bersentuhan.

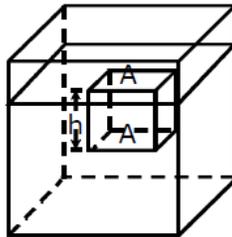
Jika ada komponen gaya yang sejajar dengan permukaan benda padat, permukaan tersebut akan menggunakan gaya balik terhadap fluida yang juga mempunyai komponen sejajar dengan permukaan tersebut seperti pada gambar 6.2.

Komponen ini akan menyebabkan fluida tersebut mengalir, ini bertentangan dengan asumsi bahwa fluida tersebut dalam keadaan diam.



Gambar 6.2 Komponen gaya yang bekerja pada benda dalam fluida

Tekanan dalam fluida yang mempunyai kerapatan seragam akan bervariasi terhadap kedalaman. Sebagai contoh pada gambar 6.3 benda berbentuk kubus yang berada pada kedalaman  $h$  dalam fluida



Gambar 6.3. Benda kubus berada pada kedalaman  $h$  dalam fluida

Tekanan yang disebabkan oleh cairan pada kedalaman  $h$ , disebabkan oleh berat cairan di atasnya. Sehingga gaya yang bekerja pada luasan bawah adalah:

$$F = m \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g.$$

Kemudian tekanan,  $P$ , adalah

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot h}{A} = \rho \cdot g \cdot h \quad \dots\dots\dots(6.4)$$

Dimana:

$P$  = tekanan ( $N/m^2$ )

$\rho$  = kerapatan/ massa jenis ( $kg/m^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi =  $0,81m/s^2$

$h$  = kedalaman

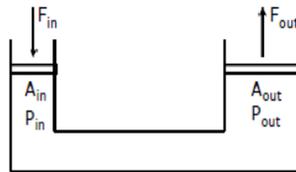
Persamaan :  $P = \rho \cdot g \cdot h$  dapat digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan,  $\Delta P$ , pada kedalaman yang berbeda dengan  $\rho$  menjadi kerapatan rata-rata:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$$

### 6.1.3 Prinsip Pascal dan Prinsip Archimedes

**Prinsip Pascal** menyatakan bahwa tekanan yang dikerjakan pada suatu fluida akan menyebabkan kenaikan tekanan ke segala arah dengan sama rata.

Dengan prinsip ini, sebuah gaya yang kecil dapat digunakan untuk menghasilkan gaya yang besar dengan membuat luas penampang keluaran lebih besar daripada luas penampang masukan. Sebagai contoh pada pipa hidrolik pada gambar 6.4



Gambar 6.4. Prinsip Pascal pada pipa hidrolik

Hal ini terjadi karena tekanan pada masukan dan keluaran akan sama pada ketinggian yang sama.

Dengan demikian, akan diperoleh:

$$P_{in} = P_{out}$$

$$\frac{F_{in}}{A_{in}} = \frac{F_{out}}{A_{out}} \quad \text{atau} \quad \frac{A_{out}}{A_{in}} = \frac{F_{out}}{F_{in}} \dots\dots\dots(6.5)$$

Dimana:

$$P_{in} = \text{tekanan input/masukan (N/m}^2\text{)}$$

$P_{out}$  = tekanan output/keluaran ( $N/m^2$ )

$F_{in}$  = gaya input/masukan (N)

$F_{out}$  = gaya output/keluaran (N)

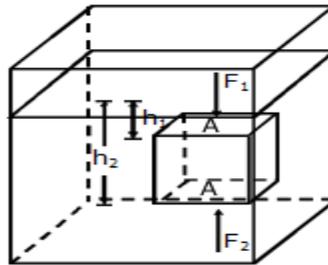
$A_{in}$  = luas input/masukan ( $m^2$ )

$A_{out}$  = luas output/keluaran ( $m^2$ )

#### 6.1.4 Gaya Apung (Bouyancy) dan Prinsip Archimedes

Berat benda yang tenggelam di dalam fluida terlihat lebih ringan daripada saat benda tersebut berada di luar fluida. Hal ini terjadi karena ada gaya apung ke atas yang dikerjakan oleh fluida.

Gaya apung terjadi karena tekanan dalam sebuah fluida naik sebanding dengan kedalaman. Sebagai contoh benda kubus yang dicelupkan kedalam fluida seperti pada gambar 6.5. Dengan demikian tekanan ke atas pada permukaan bawah benda yang tenggelam lebih besar daripada tekanan ke bawah pada bagian permukaan atas



Gambar 6.5. Prinsip Archimedes pada benda yang dicelupkan dalam fluida

**Pada permukaan atas kubus:**

- Fluida melakukan tekanan sebesar:  $P_1 = \rho \cdot g \cdot h_1$
- Gaya yang diakibatkan oleh tekanan sebesar :  $F_1 = P_1 \cdot A = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot A$

**Pada permukaan bawah kubus:**

- Fluida melakukan tekanan sebesar  $P_2 = \rho \cdot g \cdot h_2$

- Gaya yang diakibatkan oleh tekanan sebesar :  $F_2 = P_2 \cdot A = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot A$

Selisih gaya pada permukaan atas kubus terhadap gaya pada permukaan bawah kubus disebut sebagai **Gaya Apung,  $F_B$** , yang bekerja ke atas dan mempunyai besar:

$$\begin{aligned}
 F_B &= F_2 - F_1 = \rho \cdot g \cdot A \cdot (h_2 - h_1) \quad \rightarrow \quad h = h_2 - h_1 \\
 &= \rho \cdot g \cdot A \cdot h \quad \rightarrow \quad V = A \cdot h \\
 \mathbf{F_B} &= \mathbf{\rho \cdot g \cdot V} \quad \dots\dots\dots(6.6)
 \end{aligned}$$

**Dimana:**

$F_B$  = gaya apung (N)

$\rho$  = kerapatan/ massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi =  $0,81\text{m/s}^2$

$V$  = volume benda yang tercelup kedalam fluida ( $\text{m}^3$ )

Dengan demikian, gaya apung pada kubus sama dengan berat fluida yang dipindahkan yang dikenal dengan prinsip Archimedes.

**Prinsip Archimedes** menyebutkan bahwa gaya apung pada suatu benda yang dicelupkan dalam sebuah fluida sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut.

Secara matematika dinyatakan dengan :

$$F_B = W_F$$

$$\rho_B \cdot g \cdot V_B = \rho_F \cdot g \cdot V_F$$

sehingga diperoleh suatu persamaan:

$$\rho_B \cdot V_B = \rho_F \cdot V_F \quad \dots\dots\dots(6.7)$$

→ **Prinsip Archimedes**

Dimana:

$\rho_B$  = kerapatan/ massa jenis benda ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_B$  = volume benda yang dicelupkan kedalam fluida ( $\text{m}^3$ )

$\rho_F$  = kerapatan/ massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_F$  = volume fluida yang tumpah ( $\text{m}^3$ )

## Evaluasi

### Contoh Soal:

1. Berapakah massa bola besi pada dengan kerapatan  $7800\text{kg/m}^3$  yang mempunyai jari-jari 18cm.
2. Permukaan air pada tangki penyimpanan air 30m di atas kran air dapur sebuah rumah. Hitunglah tekanan air pada kran tersebut?
3. Sebuah alat tekan hidrolik yang memiliki luas penampang penghisap keluaran,  $A_{\text{out}} = 200\text{ cm}^2$  dan luas penampang penghisap masukan,  $A_{\text{in}} = 5\text{ cm}^2$ . Gaya sebesar 250 N diberikan pada penghisap masukan, berapakah gaya yang dihasilkan pada penghisap keluaran.
4. Balok kayu dengan kerapatan  $0,6\text{ g/cm}^3$  berupa kubus dengan panjang sisi 10cm terapung di atas air.

Tentukan :

- a. Besar gaya apung
- b. tinggi kayu yang berada di bawah permukaan air ( $t_1$ )
- c. tinggi kayu yang berada di atas permukaan air( $t_2$ )

### Kunci Jawaban

1. Dik :  
 $\rho = 7800\text{ kg/m}^3$   
 $R = 18\text{cm} = 0,18\text{m} \rightarrow$

Dit :

$$m = \dots?$$

Penyelesaian:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V_{bola} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}(3,14)(0,18)^3 = 0,024m^3$$

$$m = \rho V = 7800kg/m^3(0,024m^3) = 187,2kg$$

2. Dik :

$$h = 30m$$

$$g = 9,81m/s^2$$

$$\rho_{air} = 1000kg/m^3$$

Dit:

$$P = \dots?$$

Penyelesaian:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 1000kg/m^3 (9,81m/s^2)(3m) = 29430N/m^2$$

3. Dik:

$$A_{out} = 200cm^2 = 200 \cdot 10^{-4}m^2$$

$$A_{in} = 5cm^2 = 5 \cdot 10^{-4}m^2$$

$$F_{in} = 250N$$

Dit :

$$F_{out} = \dots\dots\dots?$$

Penyelesaian:

**Prinsip Pascal:**

$$\frac{F_{in}}{A_{in}} = \frac{F_{out}}{A_{out}} \rightarrow F_{out} = \frac{A_{out} \cdot F_{in}}{A_{in}} = \frac{200 \cdot 10^{-4}m^2(250N)}{5 \cdot 10^{-4}m^2} = 10000N$$

4. Dik :

$$\rho_{kayu} = 0,6 \text{ gr/cm}^3 = 600kg/m^3$$

$$V_{kayu} = (10 \times 10 \times 10)cm = 1000cm^3 = 0,001m^3 \rightarrow \text{tinggi kayu} = t = 10cm$$

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

Dit:

a.  $F_B = \dots?$

b.  $t_1 = \dots?$

c.  $t_2 = \dots?$

Penyelesaian:

a.  $F_B = \rho_{\text{kayu}} \cdot g \cdot V_{\text{kayu}} = 600 \text{ kg/m}^3 (9,81 \text{ m/s}^2) (0,001 \text{ m}^3) = 5,886 \text{ N}$

**Prinsip Archimedes:**

$$\rho_{\text{kayu}} \cdot V_{\text{kayu}} = \rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{air}}$$

$$0,6 \text{ gr/cm}^3 (1000 \text{ cm}^3) = 1 \text{ gr/cm}^3 \cdot V_{\text{air}}$$

$$V_{\text{air}} = 600 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{volume air yang tumpah}$$

Volume kayu yang tercelup kedalam air = Volume air yang tumpah =  $600 \text{ cm}^3$  → Prinsip Archimedes

b. tinggi kayu yang berada di bawah permukaan air ( $t_1$ ):

$$t_1 = \frac{\text{Volume kayu yang tercelup ke dalam air}}{\text{volume kayu}} \times \text{tinggi kayu}$$

$$t_1 = \frac{600 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3} \times 10 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$$

c. tinggi kayu yang berada di atas permukaan air ( $t_1$ ):

$$t_2 = t - t_1 = 10 \text{ cm} - 6 \text{ cm} = 4 \text{ cm}$$

## 6.2. Hidrodinamika

Aliran fluida dibedakan menjadi dua tipe, yaitu:

1. Aliran lurus (streamline) atau aliran laminar

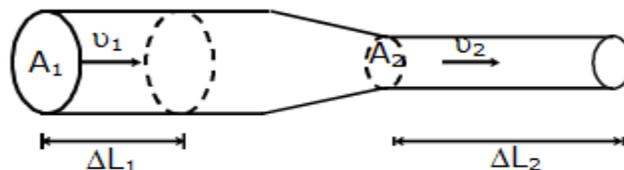
Terjadi jika aliran lancar, sehingga lapisan fluida yang saling berdekatan mengalir dengan lancar. Setiap partikel fluida mengikuti sebuah lintasan lurus yang tidak saling menyilang satu dengan lainnya.

2. Aliran turbulen atau aliran bergolak

Di atas kecepatan tertentu, yang tergantung pada sejumlah faktor, aliran akan bergolak. Aliran ini dicirikan oleh ketidakpastian, kecil, melingkar-lingkar seperti pusaran air yang disebut sebagai arus eddy atau kisanan

### 6.2.1 Laju Aliran Massa dan Persamaan Kontinuitas

Laju alir massa didefinisikan sebagai massa fluida ( $\Delta m$ ), yang melalui titik tertentu per satuan waktu ( $\Delta t$ )



Gambar 6.6. Air mengalir pada pipa yang berdiameter yang berbeda

- Pada pipa 1, dimana panjang pipa  $\Delta L_1$

Volume air yang melalui pipa 1 yaitu: air yang melewati luas pipa 1 ( $A_1$ ) dalam waktu  $\Delta t_1$  adalah :  $\Delta V_1 = A_1 \Delta L_1$

Dan kecepatan aliran air yang melewati pipa 1 adalah:  $v_1 = \frac{\Delta L_1}{\Delta t_1}$

Maka laju aliran massa pada pipa 1 dinyatakan :

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t_1} = \frac{\rho_1 \Delta V_1}{\Delta t_1} = \frac{\rho_1 A_1 \Delta L_1}{\Delta t_1} = \rho_1 A_1 v_1 \quad \dots\dots\dots(6.8)$$

- Pada pipa 2, dimana panjang pipa  $\Delta L_2$

Volume air yang melalui pipa 2 yaitu: air yang melewati luas pipa 2 ( $A_2$ ) dalam waktu  $\Delta t_2$  adalah :  $\Delta V_2 = A_2 \Delta L_2$

Dan kecepatan aliran air yang melewati pipa 2 adalah:  $v_2 = \frac{\Delta L_2}{\Delta t_2}$

Maka laju aliran massa pada pipa 2 dinyatakan :

$$\frac{\Delta m_2}{\Delta t_2} = \frac{\rho_2 \Delta V_2}{\Delta t_2} = \frac{\rho_2 A_2 \Delta L_2}{\Delta t_2} = \rho_2 A_2 v_2 \quad \dots\dots\dots(6.9)$$

Karena tidak ada aliran fluida ke dalam dan/atau keluar dari pipa, maka laju aliran massa pada pipa 1 sama dengan laju aliran massa pada pipa 2.

Dengan demikian:

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t_2}$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad \rightarrow \quad \rho_1 = \rho_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \dots\dots\dots(6.10)$$

→ **Persamaan Kontinuitas**

Dimana:

$A_1$  = luas pipa 1 ( $m^2$ )

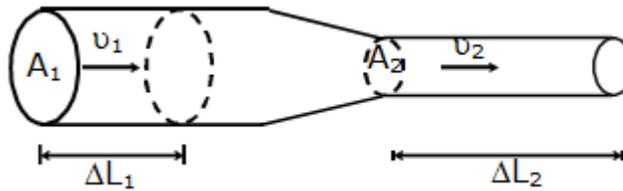
$A_2$  = luas pipa 2 ( $m^2$ )

$v_1$  = kecepatan aliran fluida pada pipa 1 (m/s)

$v_2$  = kecepatan aliran fluida pada pipa 2 (m/s)

### 6.2.2 Persamaan Bernoulli

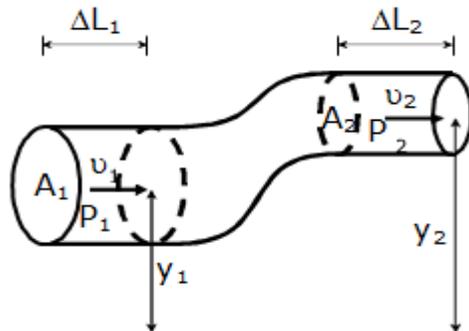
Bernoulli menyatakan bahwa jika kecepatan fluida tinggi maka tekanannya rendah, dan jika kecepatannya rendah maka tekanannya tinggi.



Gambar 6.7. Air mengalir pada pipa yang berdiameter yang berbeda

Jika tekanan pada pipa 1 dan pipa 2 diukur, akan diperoleh bahwa tekanan di pipa2 lebih rendah daripada tekanan pada pipa 1.

Contoh: Air mengalir pada pipa yang berdiameter berbeda dan ketinggian yang berbeda.



Gambar 6.8. Air mengalir pada pipa yang berdiameter yang berbeda dan ketinggian yang berbeda

- Pipa 1 panjangnya  $\Delta L_1$  berada pada ketinggian  $y_1$

Kerja yang dilakukan untuk mengalirkan air pada pipa 1 dengan tekan  $P_1$  sebesar:

$$W_1 = F_1 \Delta L_1 = P_1 A_1 \Delta L_1$$

- Pipa 2 panjangnya  $\Delta L_2$  berada pada ketinggian  $y_2$  dengan tekan  $P_2$  sebesar:

Kerja yang dilakukan untuk mengalirkan air pada pipa 2 sebesar:

$$W_2 = - F_2 \Delta L_2 = - P_2 A_2 \Delta L_2$$

Tanda negatif menyatakan bahwa gaya yang bekerja pada air berlawanan dengan arah aliran air yang sesungguhnya.

- Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi untuk mengalirkan air dari ketinggian  $y_1$  ke ketinggian  $y_2$  sebesar:

$$W_3 = - m g ( y_2 - y_1 ) = - m g y_2 + m g y_1$$

Tanda negatif menyatakan bahwa kerja yang dilakukan berlawanan dengan percepatan gravitasi.

Kerja total yang dilakukan untuk mengalirkan air dari pipa 1 ke pipa 2 adalah:

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$W = P_1 A_1 \Delta L_1 + ( - P_2 A_2 \Delta L_2 ) + ( - m g y_2 + m g y_1 )$$

$$W = P_1 A_1 \Delta L_1 - P_2 A_2 \Delta L_2 - m g y_2 + m g y_1$$

Sesuai teorema Kerja – Energi bahwa Kerja Total yang dilakukan pada suatu sistem sama dengan perubahan energi kinetiknya, sehingga:

$$W = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

$$P_1 A_1 \Delta L_1 - P_2 A_2 \Delta L_2 - m g y_2 + m g y_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

Massa air yang mengalir dengan volume :  $A_1 \Delta L_1 = A_2 \Delta L_2 = A \Delta L$

Sehingga massa air dinyatakan :

$$m = \rho V = \rho A \Delta L$$

Maka :

$$P_1 A \Delta L - P_2 A \Delta L - \rho A \Delta L g y_2 + \rho A \Delta L g y_1 = \frac{1}{2} \rho A \Delta L v_2^2 - \frac{1}{2} \rho A \Delta L v_1^2$$

$$P_1 - P_2 - \rho g y_2 + \rho g y_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

Setelah disusun ulang maka diperoleh **Persamaan Bernoulli**:

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots\dots\dots(6.11)$$

Dimana:

$P_1$  = tekanan pada pipa 1 ( $\text{N/m}^2$ )

$P_2$  = tekanan pada pipa 2 ( $\text{N/m}^2$ )

$v_1$  = kecepatan aliran fluida pada pipa 1 (m/s)

$v_2$  = kecepatan aliran fluida pada pipa 2 (m/s)

$y_1$  = tinggi pipa 1 (m)

$y_2$  = tinggi pipa 2 (m)

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,81\text{m/s}^2$

**Catatan:**  $1\text{N/m}^2 = 1 \text{ pascal (Pa)}$

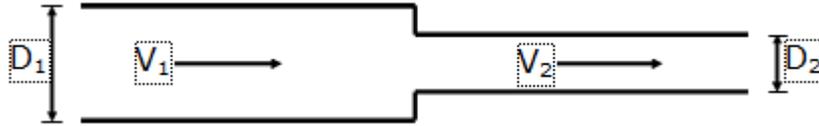
$$1 \text{ atm} = 1,013.10^5\text{N/m}^2$$

### Evaluasi

Contoh Soal:

1. Pipa dengan penampang lingkaran berisi air seperti pada gambar dibawah. Jika diameter pipa 1 ( $D_1$ ) dua kali diameter pipa 2 ( $D_2$ ) dan kecepatan aliran air pada pipa 1 ( $v_1$ ) sebesar 5m/s, hitunglah:

- kecepatan aliran air pada pipa 2
- laju aliran massa pada pipa 1 dan pipa 2, jika diameter pipa 2 sebesar 2,6cm



1. Dik:

$$D_1 = 2D_2 \rightarrow D_1 > D_2$$

$$v_1 = 5\text{m/s}$$

$$D_2 = 2,6\text{cm} = 0,026\text{m}$$

$$\rho = 1000\text{kg/m}^3$$

$$g = 9,81\text{m/s}^2$$

Dit:

$$\text{b. } v_2 = \dots\dots\dots?$$

$$\text{c. } \frac{\Delta m_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t_2} = \dots ?$$

Penyelesaian:

a. Persamaan Kontinuitas:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{\pi}{4} D_1^2 v_1 = \frac{\pi}{4} D_2^2 v_2$$

$$\frac{\pi}{4} (2D_2)^2 v_1 = \frac{\pi}{4} D_2^2 v_2$$

$$4D_2^2 v_1 = D_2^2 v_2$$

$$4v_1 = v_2 \rightarrow v_2 = 4(5\text{m/s}) = 20\text{m/s}$$

**Kesimpulan:**

Pipa yang berdiameter besar kecepatan aliran airnya kecil dan pipa yang berdiameter kecil kecepatan aliran airnya besar

$$\text{b. } \frac{\Delta m_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t_2} = \rho_2 A_2 v_2$$

$$= 1000\text{kg/m}^3 \left(\frac{3,14}{4}\right) (0,026\text{m})^2 (20\text{m/s}) = 10,61\text{kg/s}$$

## Tugas

1. Hitung tinggi permukaan air pada sebuah tangki penyimpanan air dari atas kran air , jika tekanan air ketika kran dibuka sebesar  $11,8 \cdot 10^4 \text{N/m}^2$  ( $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{kg/m}^3$ )
2. Sebuah alat tekan hidrolik yang memiliki luas penampang pipa penghisap keluaran  $315 \text{cm}^2$ , jika gaya sebesar  $250 \text{N}$  diberikan pada penghisap masukan dan menghasilkan gaya keluarannya  $20000 \text{N}$ 
  - a. Berapakah luas penampang pipa masukannya
  - b. Dan berapa tekanan pada pipa masukan dan keluaran
3. Balok kayu dengan kerapatan  $0,75 \text{ gr/cm}^3$  berupa balok dengan ukuran  $(10 \times 8 \times 9) \text{cm}$  terapung di atas permukaan air.

Tentukan :

- a. Besar gaya apung
  - b. tinggi kayu yang berada di bawah permukaan air ( $t_1$ )
  - c. tinggi kayu yang berada di atas permukaan air ( $t_2$ )
4. Air bersirkulasi ke seluruh rumah dalam sistem pemanasan air panas. Jika air dipompakan pada kecepatan  $0,5 \text{m/s}$  melalui pipa berdiameter  $4 \text{cm}$  di lantai dasar pada tekanan  $3 \text{atm}$ 

Hitung:

    - a. kecepatan aliran air pada pipa berdiameter  $2,6 \text{cm}$  di lantai dua dengan ketinggian  $5 \text{m}$ .
    - b. Laju aliran massa pada pipa 1 dan pipa 2
    - c. tekanan air dilantai dua

## VII KALOR

### Tujuan Materi Pembelajaran

Adapun tujuan pembelajaran dari materi kuliah adalah sebagai berikut:

- a. Mahasiswa mampu menjelaskan terjadinya kesetimbangan termal dan mampu memberikan contoh-contoh terjadinya kesetimbangan termal
- b. Mahasiswa mampu menjelaskan dan menganalisa terjadinya perubahan secara geometris pada benda akibat terjadinya ekspansi termal dalam 1 dimensi, 2 dimensi dan 3 dimensi
- c. Mahasiswa mampu menjelaskan dan menganalisa jumlah kalor yang diperlukan ketika benda menerima dan memberi kalor dengan konsep azas Black
- d. Mahasiswa mampu menjelaskan dan menganalisa jumlah kalor yang diterima dan dilepas ketika benda mengalami perubahan fase
- e. Mahasiswa mampu menjelaskan konsep terjadinya transfer kalor
- f. Mahasiswa mampu menjelaskan dan menganalisa kecepatan perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi

**Kalor** adalah bentuk energi yang berpindah dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah, jika terjadi kontak termal.

Dan temperatur adalah tingkat panas atau dinginnya suatu benda yang dinyatakan dalam derajat

Jika suatu benda menerima/melepaskan kalor maka temperatur benda itu akan naik/turun atau wujud benda berubah.

### 7.1. Kesetimbangan Termal

Jika dua benda pada temperatur yang berbeda diletakkan dalam kontak termal (sehingga energi dapat berpindah dari satu ke yang lainnya), kedua benda tersebut pada akhirnya akan mencapai **temperatur yang sama** dengan kata lain tidak ada lagi energi yang mengalir dari

satu ke yang lainnya. Benda-benda tersebut kemudian dikatakan berada dalam **Kesetimbangan Termal**.

Sebagai contoh :

1. Sepotong es batu yang dimasukkan ke dalam gelas besar berisi air panas akan mencair menjadi air, yang secara keseluruhan pada akhirnya mencapai temperatur yang sama.
2. Jika anda memasukkan tangan ke air danau sedingin es, anda dapat merasakan dingin itu berarti temperatur tangan anda menurun, ketika energi mengalir ke luar dari tangan anda ke air yang dingin. (Sebaiknya tarik tangan anda **sebelum dicapai kesetimbangan termal**).

## 7.2. Ekspansi Termal

Sebagian besar benda akan mengalami perubahan ukuran (ekspansi) yaitu:

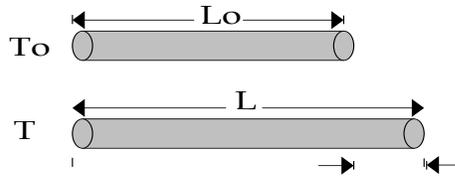
1. memuai ketika dipanaskan
2. menyusut ketika didinginkan.

Bagaimanapun, besarnya pemuaian dan penyusutan bervariasi, bergantung pada jenis materi (benda) dan bentuk geometrinya.

Sesuai bentuk geometri awal dari benda, ekspansi terbagi 3 yaitu: ekspansi linier, ekspansi luas dan ekspansi volume

### 7.2.1 Ekspansi Linier

Jika geometri awal ditinjau dalam **satu dimensi** maka benda akan mengalami perubahan dalam dimensi **panjang** atau **lebar**, seperti pada Gambar 7.1, percobaan menunjukkan bahwa perubahan panjang  $\Delta L$  pada semua zat padat, dengan pendekatan yang sangat baik, berbanding lurus dengan perubahan temperatur  $\Delta T$ . Sebagaimana diharapkan, perubahan panjang juga sebanding dengan panjang awal,  $L_0$ .



Gambar 7.1. Batang tipis dengan panjang  $L_0$  pada temperatur  $T_0$  dipanaskan

Sampai temperatur serba sama  $T$  dan panjang menjadi  $L$

Perubahan panjangnya adalah :

$$\Delta L = L - L_0 \quad \text{atau} \quad \Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad \dots\dots\dots(7.1)$$

di mana  $\alpha$  adalah konstanta pembanding, disebut koefisien ekspansi linier untuk zat tertentu dan mempunyai satuan ( $1/C^0$ ).

Persamaan untuk menentukan panjang akhir dapat dituliskan sebagai :

$$L = L_0 ( 1 + \alpha \Delta T ) \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

di mana :  $L_0$  : panjang awal (m)

$T_0$  : temperatur awal ( $^0C$ )

$L$  : panjang akhir (m)

$T$  : temperatur akhir ( $^0C$ )

$\Delta T = T - T_0$  : perubahan temperatur ( $C^0$ )

Jika  $\Delta T = T - T_0$  (positif) , maka  $\Delta L = L - L_0$  (positif); dengan demikian benda akan bertambah panjang (memuai).

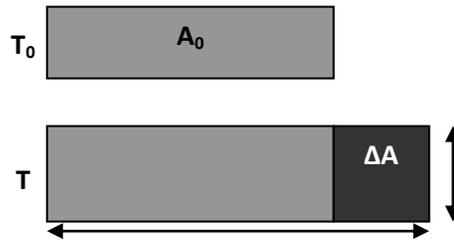
Jika  $\Delta T = T - T_0$  (negatif) , maka  $\Delta L = L - L_0$  juga negatif; dengan demikian benda berubah menjadi lebih pendek (menyusut).

➤  $\Delta T = \text{Temperatur akhir} - \text{Temperatur awal}$

### 7.2.2. Ekspansi Luas

Jika geometri awal dalam **dua dimensi** yaitu dimensi **panjang dan lebar** maka benda akan mengalami **perubahan luas (ekspansi luas)**.

Seperti pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2. Benda bentuk plat yang berekspansi dalam dimensi luas

Perubahan Luasnya dapat ditulis:

$$\Delta A = A - A_0$$

atau

$$\Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T$$

atau

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T \quad \dots\dots\dots(7.3)$$

Dimana :  $\beta = 2\alpha$

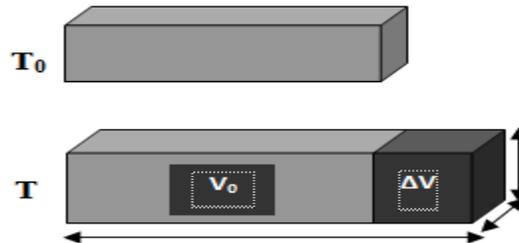
Persamaan untuk menentukan **luas akhir** dapat dituliskan sebagai :

$$A = A_0 ( 1 + \beta \Delta T ) \quad \dots\dots\dots(7.4)$$

- Dimana :
- $A_0$  = Luas awal (  $m^2$  )
  - $\Delta A$  = Perubahan Luas (  $m^2$  )
  - $\Delta T$  = Perubahan Temperatur (  $C^0$  )
  - $\beta$  = Koefisien Ekspansi Luas (  $C^{0-1}$  )

### 7.2.3. Ekspansi Volume

Jika geometri awal benda yang berekspansi adalah dalam **tiga dimensi** maka benda akan mengalami perubahan **volume (ekspansi volume)**, seperti pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3. Benda bentuk balok berekspansi dalam dimensi volume

Perubahan Volumennya dapat ditulis:

$$\Delta V = V - V_0$$

atau

$$\Delta V = 3\alpha V_0 \Delta T$$

atau

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T \quad \dots\dots\dots(7.5)$$

Dimana:  $\gamma = 3\alpha$

Persamaan untuk menentukan **Volume akhir** dapat dituliskan sebagai :

$$V = V_0 (1 + \gamma \Delta T) \quad \dots\dots\dots(7.6)$$

- Dimana :
- $V_0$  = Volume awal (  $m^3$  )
  - $\Delta V$  = Perubahan Volume (  $m^3$  )
  - $\Delta T$  = Perubahan Temperatur (  $C^0$  )
  - $\gamma$  = Koefisien Ekspansi volume (  $C^{0-1}$  )

## Evaluasi

Contoh Soal:

Sebatang baja yang panjangnya 10m bertemperatur  $20^{\circ}\text{C}$  dipanaskan hingga mencapai temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  berapakah pertambahan panjang dan panjang akhir baja tersebut jika koefisien ekspansi linier baja  $12 \times 10^{-6}/\text{C}^{\circ}$

## Kunci Jawaban

$$\text{Dik : } L_0 = 10\text{m}$$

$$T_0 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T = 40^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 12 \times 10^{-6}/\text{C}^{\circ}$$

$$\Delta T = T - T_0 = 20\text{C}^{\circ}$$

Dit :

$\Delta L$  dan  $L = \dots?$

Penyelesaian:

Perubahan Panjang

$$\begin{aligned}\Delta L &= \alpha L_0 \Delta T \\ &= 12 \times 10^{-6}/\text{C}^{\circ} (10\text{m})(20\text{C}^{\circ}) \\ &= 24 \times 10^{-4}\text{m} = \mathbf{0,0024\text{m}}\end{aligned}$$

Panjang Akhir

$$\Delta L = L - L_0$$

$$L = L_0 + \Delta L = 10\text{m} + 0,0024\text{m} = \mathbf{10,0024\text{m}}$$

Atau :

$$\begin{aligned}L &= L_0 (1 + \alpha \Delta T) \\ &= 10\text{m} (1 + 12 \times 10^{-6}/\text{C}^{\circ}(20)) = \mathbf{10,0024\text{m}}\end{aligned}$$

### 7.3. Jumlah Kalor Dan Kalor Spesifik

Jika kalor diberikan pada suatu benda, temperaturnya naik. Jumlah kalor  $Q$  yang dibutuhkan untuk **merubah temperatur** zat tertentu sebanding dengan massa zat tersebut dan dengan perubahan temperatur  $\Delta T$ , dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q = m c \Delta T \quad \dots\dots\dots(7.7)$$

Dimana :

$Q$  = jumlah kalor ( J )

$m$  = massa zat ( kg )

$c$  = kalor spesifik (  $J/kgC^0$  )

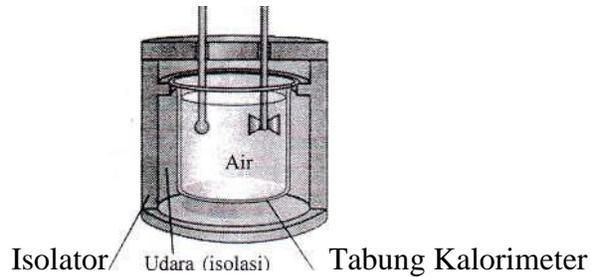
$\Delta T$  = perubahan temperatur (  $C^0$  )

➤  **$\Delta T = \text{Temperatur tinggi} - \text{Temperatur rendah}$**

Kalor Spesifik adalah merupakan besaran karakteristik dari sebuah zat yaitu kemampuan setiap zat untuk dapat menerima kalor sehingga menyebabkan terjadinya perubahan temperatur.

### 7.4. Prinsip Kalorimetri

Ketika bagian-bagian yang berbeda dari sistem yang terisolasi berada pada temperatur yang berbeda, kalor akan mengalir dari bagian dengan temperatur yang lebih tinggi ke bagian dengan temperatur lebih rendah. Jika sistem terisolasi seluruhnya, tidak ada energi yang bisa mengalir ke dalam atau ke luar. Jadi kekekalan energi memainkan peranan penting untuk kita: kehilangan kalor sebanyak satu bagian sistem sama dengan kalor yang didapat oleh bagian yang lain sesuai dengan **Azaz Black**: "*Jumlah Kalor yang diberi = Jumlah Kalor yang diterima*"



Gambar 7.4. Kalorimeter Air Sederhana

Misalkan air panas dituangkan kedalam tabung kalorimeter sehingga terjadi transfer kalor dari air panas ke tabung kalorimeter, karena sistem terisolasi dan telah dicapai kesetimbangan termal seperti pada Gambar 7.4, maka berlakulah **Azaz Balck** :

**Jumlah Kalor yang diberi (air) = Jumlah Kalor yang diterima (kalorimeter)**

Maka persamaannya dapat dituliskan :

$$Q_{\text{diberi}} = Q_{\text{diterima}}$$

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{kalorimeter}}$$

$$m_{\text{air}} c_{\text{air}} \Delta T_{\text{air}} = m_{\text{kal}} c_{\text{kal}} \Delta T_{\text{kal}}$$

$$m_{\text{air}} c_{\text{air}} (T_{\text{air}} - T_{\text{setimbang}}) = m_{\text{kal}} c_{\text{kal}} (T_{\text{setimbang}} - T_{\text{kal}})$$

Contoh : Jika sepotong logam panas dicelupkan kedalam tabung kalorimeter yang berisi air maka bentuk persamaan dari Azaz Black:

$$Q_{\text{diberi}} = Q_{\text{diterima}}$$

$$Q_{\text{logam}} = Q_{\text{air}} + Q_{\text{kalorimeter}}$$

$$m_{\text{logam}} c_{\text{logam}} \Delta T_{\text{logam}} = m_{\text{air}} c_{\text{air}} \Delta T_{\text{air}} + m_{\text{kal}} c_{\text{kal}} \Delta T_{\text{kal}}$$

$$m_{\text{logam}} c_{\text{logam}} (T_{\text{logam}} - T_s) = m_{\text{air}} c_{\text{air}} (T_s - T_{\text{kal}}) + m_{\text{kal}} c_{\text{kal}} (T_s - T_{\text{kal}})$$

**$T_s$  = Temperatur setimbang**

## 7.5. Kalor Laten

Kalor yang diperlukan untuk merubah wujud/fase suatu benda disebut sebagai **Kalor Laten**.

Proses perubahan wujud ketika benda menerima kalor (pemanasan):

- padat menjadi cair disebut melebur/mencair
- cair menjadi gas disebut menguap

Proses perubahan wujud ketika benda memberi/melepas kalor (pendinginan):

- gas menjadi cair disebut mengembun
- cair menjadi padat disebut membeku

Kalor yang diperlukan merubah wujud dari padat menjadi cair disebut **Kalor Lebur**. Kalor yang diperlukan merubah wujud dari cair menjadi gas disebut **Kalor Uap**. Kalor yang diperlukan merubah wujud dari gas menjadi cair disebut **Kalor Embun**. Kalor yang diperlukan merubah wujud dari cair menjadi padat disebut **Kalor Beku**.

Kalor Lebur, Kalor Uap, Kalor Embun dan Kalor Beku disebut dengan **Kalor Laten**

Kalor penguapan dan lebur juga mengacu pada jumlah kalor yang dilepaskan oleh zat ketika berubah dari gas ke cair, atau dari cair ke padat. Dengan demikian, uap mengeluarkan 2260 kJ/kg ketika berubah menjadi air, dan air mengeluarkan 333 kJ/kg ketika menjadi es.

Tentu saja, kalor yang terlibat dalam perubahan fase tidak hanya bergantung pada kalor laten, tetapi juga pada massa total zat tersebut. Sehingga jumlah kalor yang diperlukan untuk **merubah wujud** suatu benda dinyatakan:

$$Q = m L \quad \dots\dots\dots(7.8)$$

**Dimana:**

**Q = jumlah kalor (J)**

**m = massa benda (kg)**

**L = kalor laten (J/kg)**

## Evaluasi

Contoh Soal:

1. Jika 0,2 kg teh bertemperatur  $95^{\circ}\text{C}$  dituangkan kedalam gelas yang massanya 150g bertemperatur  $25^{\circ}\text{C}$ , berapa temperatur akhir dari sistem ketika dicapai kesetimbangan termal dan sistem terisolasi.

$$(c_{\text{teh}} = 4186 \text{ J/kgC}^0 ; c_{\text{gelas}} = 840 \text{ J/kgC}^0)$$

2. Berapa banyak kalor yang diperlukan untuk merubah wujud 2kg es  $-40^{\circ}\text{C}$  menjadi uap  $110^{\circ}\text{C}$  ( $c_{\text{es}} = 2100 \text{ J/kgC}^0$  ;  $c_{\text{air}} = 4186 \text{ J/kgC}^0$  ;  $L_f \text{ es} = 3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}$  ;  $L_v \text{ uap} = 22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ ;  $c_{\text{uap}} = 2010 \text{ J/kgC}^0$  )

## Penyelesaian:

1. Dik :  $m = 2\text{kg}$   
 $T_{\text{teh}} = 95^{\circ}\text{C}$   
 $m_{\text{gelas}} = 150\text{gr} = 0,15\text{kg}$   
 $T_{\text{gelas}} = 25^{\circ}\text{C}$

Dit :  $T_s = \dots?$  (temperatur setimbang)

Penyelesaian :

$$m_{\text{teh}} c_{\text{teh}} (T_{\text{teh}} - T_s) = m_{\text{gelas}} c_{\text{gelas}} (T_s - T_{\text{gelas}})$$

$$2\text{kg}(4186 \text{ J/kgC}^0)(95^{\circ}\text{C} - T_s) = 0,15\text{kg}(840 \text{ J/kgC}^0)(T_s - 25^{\circ}\text{C})$$

$$795,34 - 8,372T_s = 126T_s - 3150$$

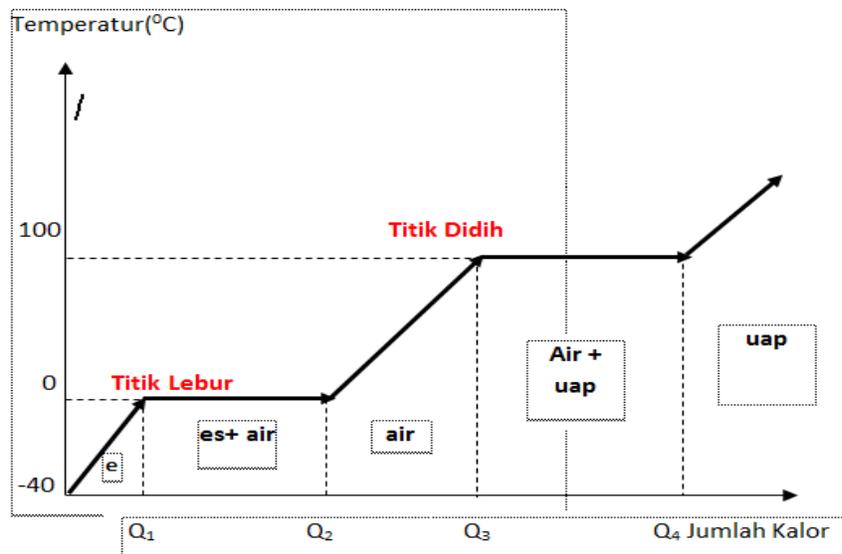
$$134,372T_s = 3945,34$$

$$T_s = 29,36^{\circ}\text{C}$$

2. Dik :  $m_{\text{es}} = 2\text{kg}$   
 $T_{\text{es}} = -40^{\circ}\text{C}$   
 $T_{\text{uap}} = 110^{\circ}\text{C}$

Dit :  $Q_{\text{total}} = \dots?$  (Jumlah kalor total)

Penyelesaian :



Gambar 7.6. Proses Perubahan Wujud/Fase

**Analisis Jumlah Kalor yang diperlukan melalui tahapan perubahan berikut:**

- Jumlah Kalor yang diperlukan untuk **merubah temperatur** es dari  $-40^{\circ}\text{C}$  menjadi es  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = m_{\text{es}} c_{\text{es}} \Delta T_{\text{es}} = 2\text{kg} (2100\text{J/kgC}^0)(40\text{C}^0) = 168000\text{J}$$

- Jumlah Kalor yang diperlukan untuk **merubah wujud** es  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi air  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_2 = m_{\text{es}} L_f = 2\text{kg} (3,33 \times 10^5\text{J/kg}) = 666000\text{J}$$

**$L_f$  adalah kalor lebur**

- Jumlah Kalor yang diperlukan untuk **merubah temperatur** air dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi air  $100^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_3 = m_{\text{air}} c_{\text{air}} \Delta T_{\text{air}} = 2\text{kg} (4186\text{J/kgC}^0)(100\text{C}^0) = 837200\text{J}$$

- Jumlah Kalor yang diperlukan untuk **merubah wujud** air  $100^{\circ}\text{C}$  menjadi uap  $100^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_4 = m_{\text{air}} L_v = 2\text{kg} (22,6 \cdot 10^5\text{J/kg}) = 4520000\text{J}$$

$L_v$  adalah kalor uap

- Jumlah Kalor yang diperlukan untuk **merubah temperatur** uap dari  $100^{\circ}\text{C}$  menjadi uap  $110^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_5 = m_{\text{uap}} c_{\text{uap}} \Delta T_{\text{uap}} = 2\text{kg} (2010\text{J/kgC}^0)(10\text{C}^0) = 40200\text{J}$$

**Jumlah Kalor total yang diperlukan untuk merubah wujud es  $-40^{\circ}\text{C}$  menjadi uap  $110^{\circ}\text{C}$  adalah:**

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \\ &= 168000\text{J} + 666000\text{J} + 837200\text{J} + 4520000\text{J} + 40200\text{J} \\ &= \mathbf{62314000\text{J} = 6,23 \cdot 10^7\text{J}} \end{aligned}$$

➤ **Kalor Lebur = Kalor Beku =  $L_f$**

➤ **Kalor Uap = Kalor Embun =  $L_v$**

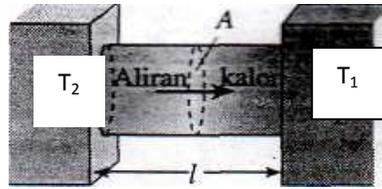
## 7.6. Transfer Kalor

Kalor adalah bentuk energi yang berpindah dari tempat yang temperatur tinggi ke tempat yang temperatur rendah. Jika suatu benda menerima/melepaskan kalor maka temperatur benda itu akan naik/turun atau wujud benda akan berubah.

Kalor berpindah (merambat) melalui tiga macam cara yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi

### 7.6.1. Konduksi

Konduksi adalah perambatan kalor tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat perantaranya dan biasanya terjadi pada benda padat, seperti pada gambar 7.7



Gambar 7.7. Konduksi kalor antara daerah dengan temperatur  $T_2$  dan  $T_1$

Kecepatan aliran kalor secara konduksi dapat ditulis:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = K \cdot A \cdot (\Delta T/L) \quad \dots\dots\dots(7.9)$$

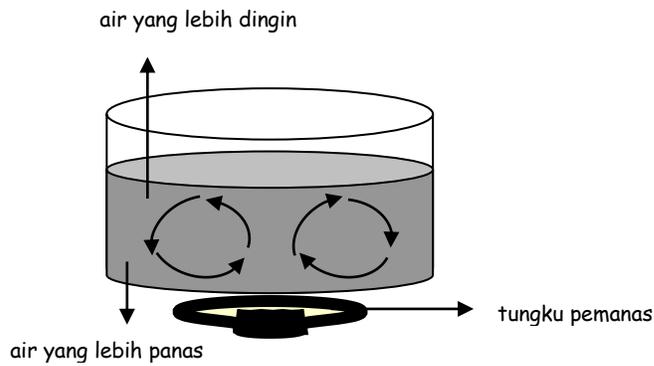
- Dimana:
- H = jumlah kalor yang merambat per satuan waktu (J/s)
  - $\Delta T / L$  = gradien temperatur ( $C^0/m$ )
  - K = koefisien konduksi ( $J/smC^0$ )
  - A = luas penampang ( $m^2$ )
  - L = panjang benda (m)

$$\Delta T = T_{\text{tinggi}} - T_{\text{rendah}}$$

### 7.6.2. Konveksi

Konveksi adalah perambatan kalor yang disertai perpindahan bagian-bagian (molekul-molekul) zat perantaranya, karena perbedaan massa jenis.

Sebagai contoh, ketika sepanci air dipanaskan, arus konveksi terjadi sementara air yang dipanaskan dibagian bawah panci akan naik karena massa jenis air berkurang dan digantikan oleh air yang lebih dingin di atasnya. Demikian seterusnya, hal ini menyebabkan air berputar karena konveksi pada sistem, seperti pada Gambar 7.8.



Gambar 7.8. Arus konveksi pada sepanci air yang dipanaskan diatas tungku

Kecepatan aliran kalor dengan cara konveksi dapat ditulis:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots(7.10)$$

- Dimana: H = jumlah kalor yang merambat per satuan waktu (J/s)  
 h = koefisien konveksi (J/sm<sup>2</sup>C<sup>0</sup>)  
 ΔT = perubahan temperatur (C<sup>0</sup>)

### 7.6.3. Radiasi

Radiasi adalah perambatan kalor dengan pancaran berupa gelombang-gelombang elektromagnetik. Pancaran kalor secara radiasi mengikuti **Hukum Stefan Boltzmann**:

$$W = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \dots\dots\dots(7.11)$$

- Dimana: W = laju energi radiasi yang dipancarkan(J/s)  
 σ = konstanta Boltzman =5,672 x 10<sup>-8</sup> watt/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>  
 e = emisivitas (0 ≤ e ≤ 1)  
 T = temperatur mutlak (K)  
 A = luas permukaan(m<sup>2</sup>)

Jika temperatur benda pemancar tidak berada dalam kesetimbangan termal terhadap sekelilingnya maka pancaran energinya dapat dihitung dengan persamaan:

$$W = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \cdot \sigma \cdot A \{(T_2)^4 - (T_1)^4\} \dots\dots\dots(7.12)$$

$T_2$  = temperatur pemancar (K)

$T_1$  = temperatur penyerap (K)

***Kesimpulan:***

1. Semua benda (panas/dingin) memancarkan energi radiasi/kalor
2. Semakin tinggi temperatur benda. semakin besar radiasinya
3. Koefisien emisivitas benda tergantung pada sifat permukaannya.

Benda hitam sempurna mempunyai nilai  $e = 1$  , merupakan pemancar dan penyerap kalor yang paling baik.

**Evaluasi**

Contoh Soal:

1. Besi panjangnya 2 meter disambung dengan kuningan yang panjangnya 1 meter, keduanya mempunyai luas penampang yang sama. Apabila temperatur pada ujung besi adalah 500°C dan temperatur pada ujung kuningan 350°C. Bila koefisien konduksi termal kuningan tiga kali koefisien konduksi termal besi, hitunglah temperatur pada titik sambungan antara besi dan kuningan

2. Benda hitam yang emisivitasnya 0,9 luas permukaannya 0,5m<sup>2</sup> dan temperaturnya 27°C. Jika temperatur sekelilingnya 77°C.

Hitunglah :

- a. Kecepatan aliran kalor yang diserap oleh benda tersebut.
- b. Energi total yang diserap bend selama 1 jam

## Kunci Jawaban

1. Dik :  $L_{\text{besi}} = 2\text{m}$   
 $L_{\text{kuningan}} = 1\text{m}$   
 $K_{\text{kuningan}} = 3 K_{\text{besi}}$   
 $T_2 = 500^{\circ}\text{C}$   
 $T_1 = 350^{\circ}\text{C}$

Dit :  $T_x = \dots?$  ( temperatur titik sambung besi dan kuningan )

Penyelesaian:

Misalkan temperatur pada titik sambungan =  $T_x$  , maka

$$[K \cdot A \cdot (\Delta T/L)]_{\text{besi}} = [K \cdot A \cdot (\Delta T/L)]_{\text{kuningan}}$$

$$K A (500 - T_x)/2 = 3K A (T_x - 350)/1$$

$$T_x = 2600/7 = 371,4^{\circ}\text{C}$$

2. Dik : Benda hitam:  $e = 0,9$  ;  $\sigma = 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ J/sm}^2\text{K}^4$

$$A = 0,5\text{m}^2$$

$$T_1 = 27^{\circ}\text{C} = 27 + 273\text{K} = 300\text{K}$$

$$T_2 = 77^{\circ}\text{C} = 77 + 273\text{K} = 350\text{K}$$

Dit :

a.  $W = \dots ?$

b.  $Q = \dots ?$

Penyelesaian :

a.  $W = e \cdot \sigma \cdot A \{(T_2)^4 - (T_1)^4\}$   
 $= 0,9( 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ J/sm}^2\text{K}^4) (0,5\text{m}^2) \{(350\text{K})^4 - (300\text{K})^4\}$   
 $= 176,27 \text{ J/s}$

b.  $W = Q / t$

$$Q = W \cdot t$$

$$Q = 176,27 \text{ J/s} \cdot 3600\text{s} = 634572 \text{ J}$$

## Tugas

1. Kaca jendela ukuran 50cm x 100cm mula bertemperatur  $28^{\circ}\text{C}$ , akibat terik matahari maka temperatur kaca jendela naik menjadi  $40^{\circ}\text{C}$ , hitunglah perubahan luas dan luas akhir kaca jendela, jika koefisien ekspansi linier kaca jendela sebesar  $9 \cdot 10^{-6}/\text{C}^{\circ}$
2. Tangki bensin sebuah mobil terbuat dari baja berkapasitas 70L diisi bensin sampai penuh, keduanya bertemperatur  $20^{\circ}\text{C}$ . Kemudian mobil diparkirkan dibawah terik matahari sehingga temperatur tangki dan bensin naik menjadi  $40^{\circ}\text{C}$ . Berapa banyakkah bensin yang akan tumpah dari tangki. ( $\gamma_{\text{baja}}=36 \times 10^{-6}\text{C}^{\circ-1}$ ,  $\gamma_{\text{bensin}}= 950 \times 10^{-6}\text{C}^{\circ-1}$ ).
3. Andai anda diminta untuk memanaskan logam yang massanya **195 gram** hingga temperatur  **$330^{\circ}\text{C}$** , lalu logam tersebut dicelupkan kedalam tabung kalorimeter aluminium yang massanya **100 gram** berisi air **200 gram** keduanya bertemperatur  **$12^{\circ}\text{C}$**  (seluruh sistem diisolasi). Setelah terjadi kesetimbangan termal sistem bertemperatur  **$36^{\circ}\text{C}$** .  
Coba anda hitung kalor sfesifik logam tersebut dan sebutkan jenis logamnya ( lihat tabel ).

No.	Jenis bahan	Kalor Spesifik ( J / kg $\text{C}^{\circ}$ )
1.	Aluminium	900
2.	Air	4186
3.	Kuningan	390
4.	Gelas	840
5.	Baja	450

4. Berapa banyak energi yang harus dikeluarkan lemari es dari 1,5kg air bertemperatur  $20^{\circ}\text{C}$  untuk membuat es  $-12^{\circ}$  (  $c_{\text{es}} = 2100\text{J/kgC}^{\circ}$  ;  $c_{\text{air}} = 4186 \text{J/kgC}^{\circ}$  ;  $L_f \text{ es} = 3,33 \times 10^5\text{J/kg}$  )

5. Berapakah laju aliran kalor melalui bingkai jendela kaca tebal 0,5cm bila permukaan luar temperaturnya  $35^{\circ}\text{C}$ . Dan permukaan dalam temperaturnya  $16^{\circ}\text{C}$ , luas jendela  $1,05\text{m}^2$  dan  $k = 0,8 \text{ J/smC}^0$
6. Seseorang berada dalam ruangan yang panas. Bila luas permukaan tubuh orang itu  $1,5\text{m}^2$ , temperatur permukaan kulitnya  $33^{\circ}\text{C}$  dan temperatur ruangan  $28^{\circ}\text{C}$ . Berapakah laju kalor yang hilang melalui konveksi (konveksitastermal,  $h = 7,1\text{W/m}^2\text{C}^0$ )