

Pertemuan 4: IFA 103 (2 SKS)

FISIKA DASAR ***(Dinamika Partikel)***

Oleh Wayan Suparta, PhD

Prodi Informatika

Universitas Pembangunan Jaya



Sub Pokok Bahasan:

1. Konsep Dinamika Gerak
2. Gerak Parabola
3. Gerak Melingkar dan Gaya Sentripetal
4. Hukum Gravitasi Universal

Capaian Pembelajaran:

- Mampu menerapkan konsep dinamika pada gerak parabola, melingkar dan gravitasi;
- Mampu melakukan evaluasi terhadap sistem gerak partikel.

1. DINAMIKA GERAK:

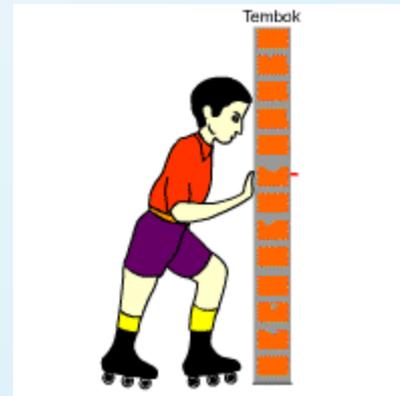
Bagaimana gaya – gaya dapat menyebabkan gerakan

Penyebab gerak \longleftrightarrow Gerakan

Apakah gerobak yang ditarik selalu bergerak ???



Apakah tembok bergerak?



RUMUS GERAK JATUH BEBAS (GJB)

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

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h$$

$$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

INGAT:

$$v_0 = 0$$

$$a = g$$

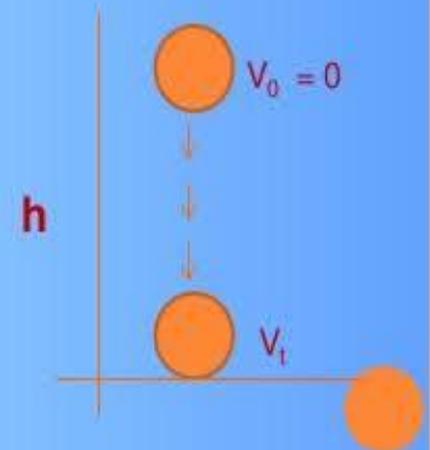
GERAK JATUH BEBAS

- Gerak jatuh bebas adalah gerak benda yang jatuh dari suatu ketinggian tanpa kecepatan awal di sekitar bumi. Gerak jatuh bebas dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Benda-benda yang jatuh bebas. Rumus ini akurat saat benda dijatuhkan di ruang hampa.

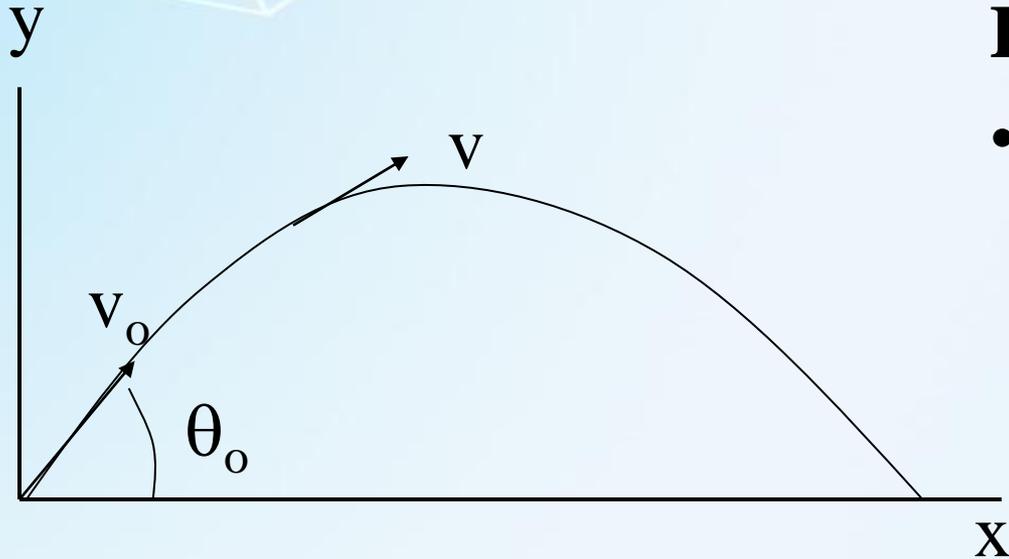
- $v_t = g \cdot t$
- $v_t^2 = 2gh$
- $h = \frac{1}{2} g t^2$
- $t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$
- $v_t = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

Keterangan:

- v_t = kecepatan saat t sekon (m/s)
- g = percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s²)
- h = jarak yang ditempuh benda (m)
- t = selang waktu (s)



2. Lintasan Parabola



- v_o = kecepatan awal
- θ_o = arah awal saat dilepas
- Arah peluru setiap saat:
 $\theta = \text{arc tgn } [y/x]$
- Titik tertinggi $\rightarrow v_y = 0$.

RUMUS DASAR:

- Gerak horisontal:

$$v_{ox} = v_o \cos \theta_o$$

$$v_x = v_{ox} = v_o \cos \theta_o = \text{konstan}$$

$$x = v_o \cos \theta_o t$$

- Gerak vertikal (*ke atas*):

$$v_{oy} = v_o \sin \theta_o$$

$$v_y = v_o \sin \theta_o - gt$$

$$y = v_o \sin \theta_o t - \frac{1}{2} gt^2$$

Persamaan Gerak Parabola

- Tinggi tertinggi didapatkan pada kondisi:

$$v_y = 0 \rightarrow t = \frac{v_{oy}}{g}$$

$$H = \frac{1}{2} \frac{v_{oy}^2}{g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

- Titik terjauh (x maks):

$$y = 0 \rightarrow t = 2 \frac{v_{oy}}{g}$$



$$R = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$$

- Persamaan gerak parabola:

$$y = (v_0 \sin \theta) \frac{x}{v_0 \cos \theta} - \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2$$

$$= \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right) x - \left(\frac{1}{2} \frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$y = a x + b x^2 \text{ (Pers.Parabola)}$$

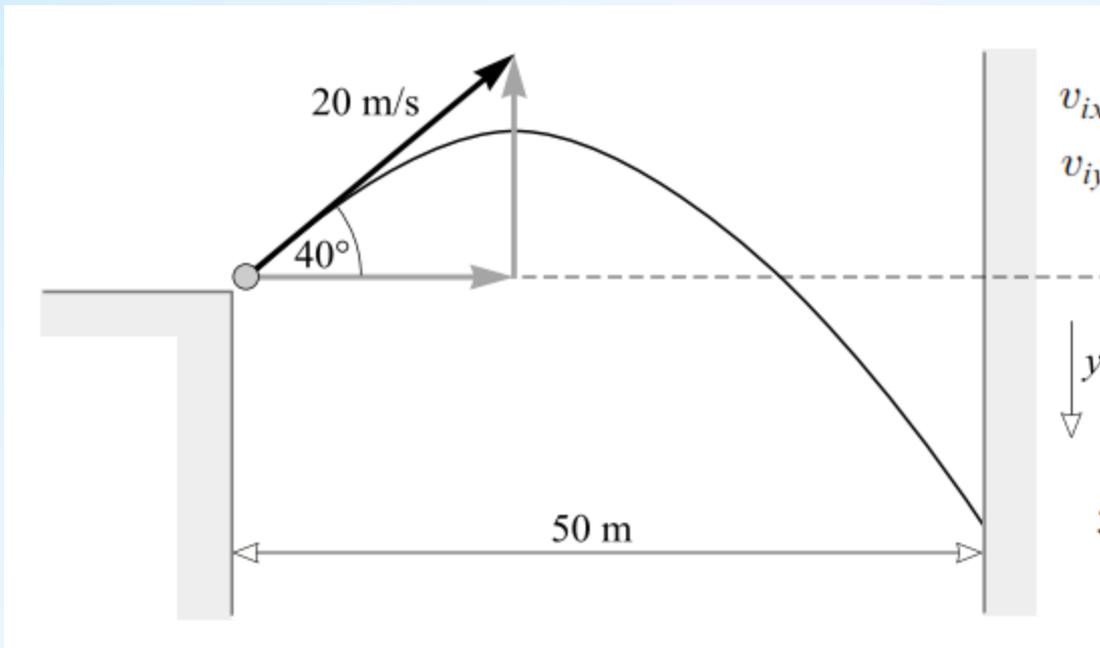
$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$x = v_0 \cos \theta_0 t$$

$$\implies t = \frac{x}{v_0 \cos \theta_0}$$

CONTOH SOAL

1. Dimanakah posisi bola jatuh dari titik asalnya?



Keadaan awal:

$$v_{ix} = (20 \text{ m/s}) \cos 40^\circ = 15.3 \text{ m/s}$$

$$v_{iy} = (20 \text{ m/s}) \sin 40^\circ = 12.9 \text{ m/s}$$

Gerak dalam bidang datar:

$$v_{ix} = v_{fx} = v_x = 15.3 \text{ m/s}$$

$$x = v_x t$$

$$50 \text{ m} = (15.3 \text{ m/s})t$$

$$t = 3.27 \text{ s}$$

Gerak dalam bidang vertikal (jika gerak ke bawah dianggap **positif**), maka

$$y = v_{iy}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

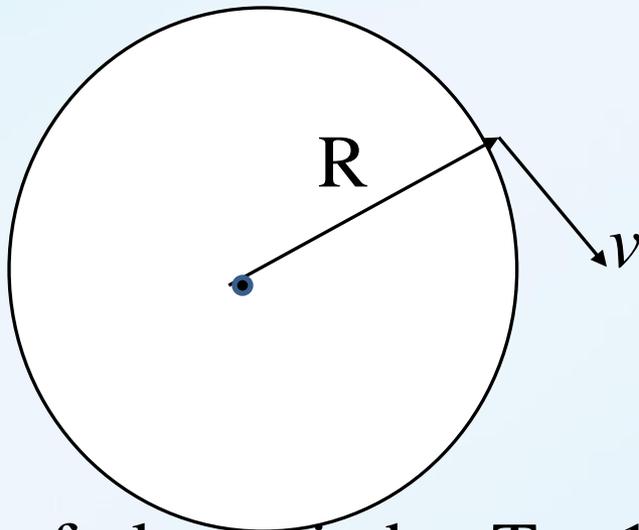
$$= (-12.9 \text{ m/s}^2) (3.27 \text{ s}) + \frac{1}{2} (9.8 \text{ m/s}^2) (3.27 \text{ s})^2 = 105 \text{ m}$$

Jadi, bola jatuh pada jarak 105 m dari titik asalnya.

3. Gerak Melingkar Beraturan

Adalah gerakan suatu benda yang lintasannya berupa lingkaran.

- **Gerak melingkar beraturan :**



$f =$ frekuensi, dan $T = 1/f$

Percepatan **radial** : $a_r = v^2/R$

Kecepatan **sudut** : $\omega = d\theta/dt$

$v = R \omega$, $\rightarrow \omega = 2\pi f = 2\pi/T$

Gerak melingkar dipercepat.

Percepatan singgung

(percepatan tangensial):

$$\begin{aligned} a_t &= dv/dt \\ &= R d\omega/dt \end{aligned}$$

Percepatan sudut :

$$\begin{aligned} a_s &= d\omega/dt \\ a_t &= R a_s \end{aligned}$$



Kinematika Gerak Melingkar Berubah Beraturan

Persamaan kinematika GMBB akan mirip dengan persamaan kinematika GLBB.

GLBB

$$v = v_0 + at$$

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$\Delta x = x - x_0$$

dengan

GMBB

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\Delta \theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta\theta$$

$$\Delta \theta = \theta - \theta_0$$

Gerak Melingkar (1)

Gerak sebuah benda titik dengan lintasan melingkar dengan jari-jari R .

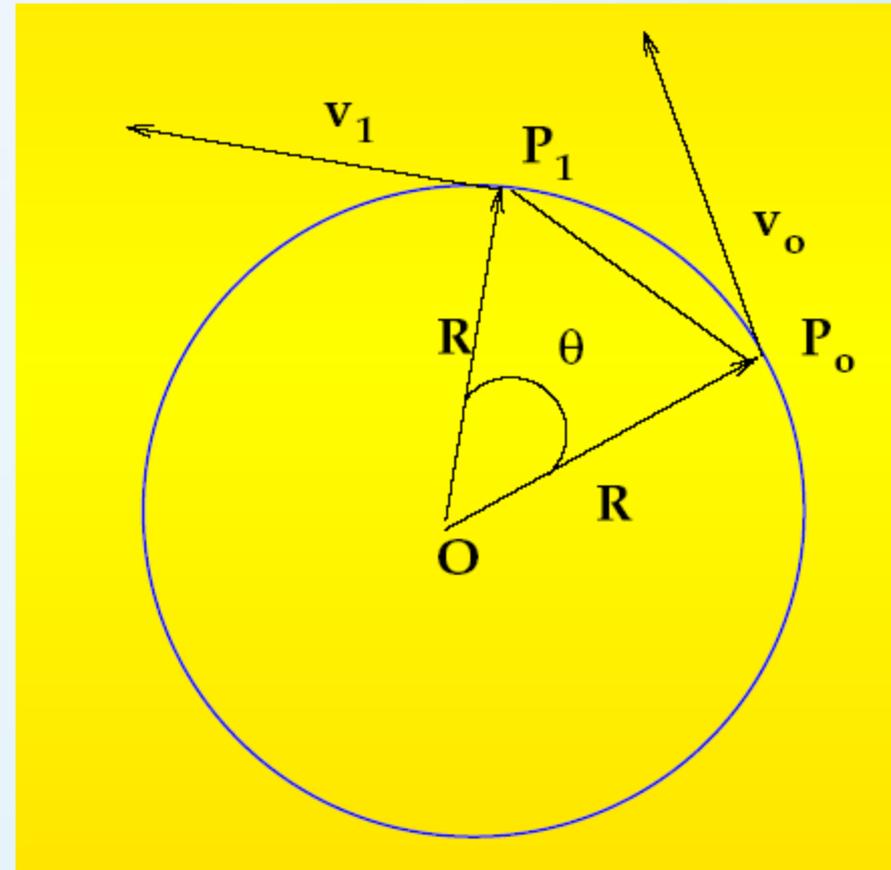
$$\vec{r} = \vec{x}(t)\hat{i} + \vec{y}(t)\hat{j}$$

Persamaan gerak melingkar

$$x(t) = R \cos \theta = R \cos \omega t$$

$$y(t) = R \sin \theta = R \sin \omega t$$

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



$$\theta = \omega t$$

Gerak Melingkar (2)

Kecepatan total:

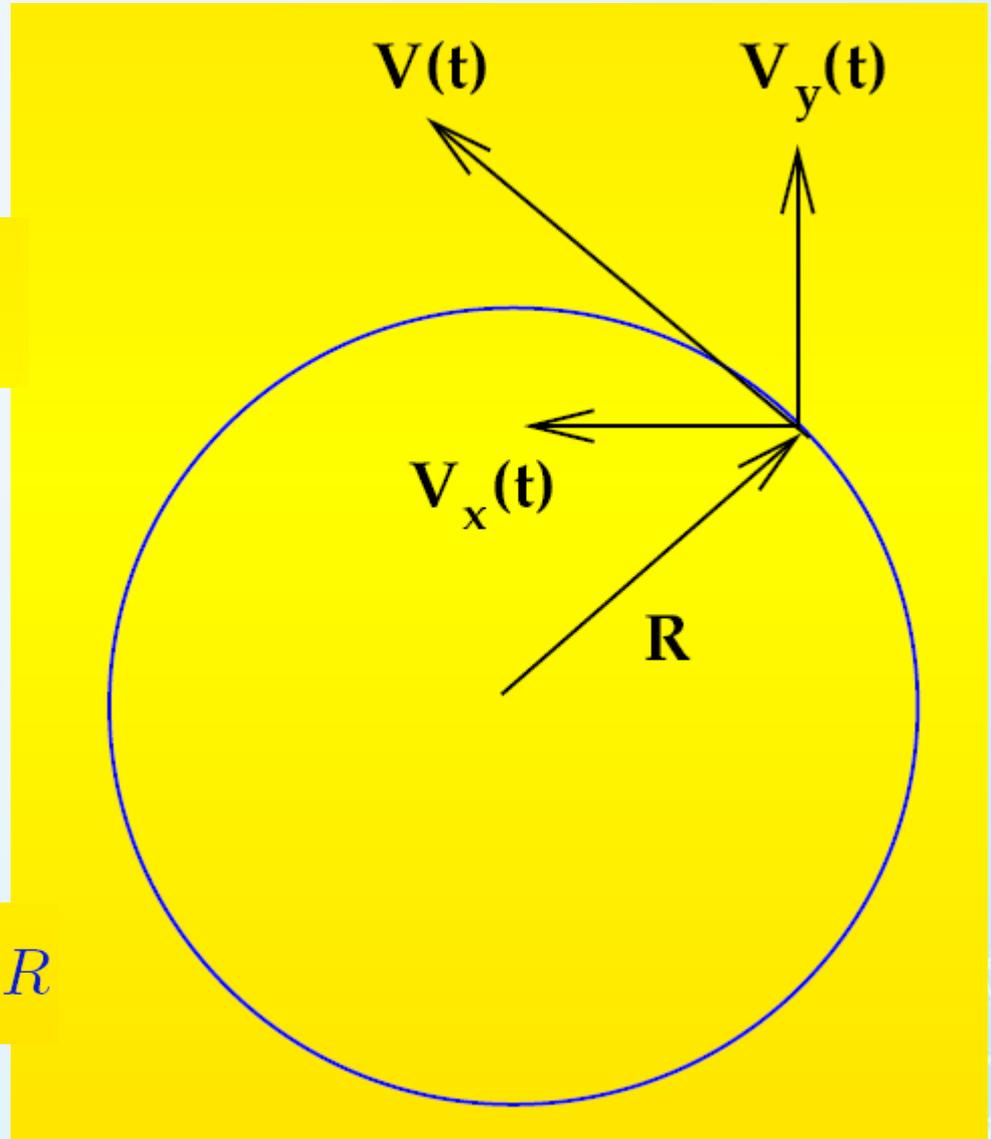
$$\vec{v}(t) = \vec{v}_x(t)\hat{i} + \vec{v}_y(t)\hat{j}$$

Komponen-komponen kecepatan:

$$v_x(t) = -\omega R \sin \omega t$$

$$v_y(t) = \omega R \cos \omega t$$

$$|v| = \sqrt{v_x(t)^2 + v_y(t)^2} = \omega R$$



Gerak Melingkar (3)

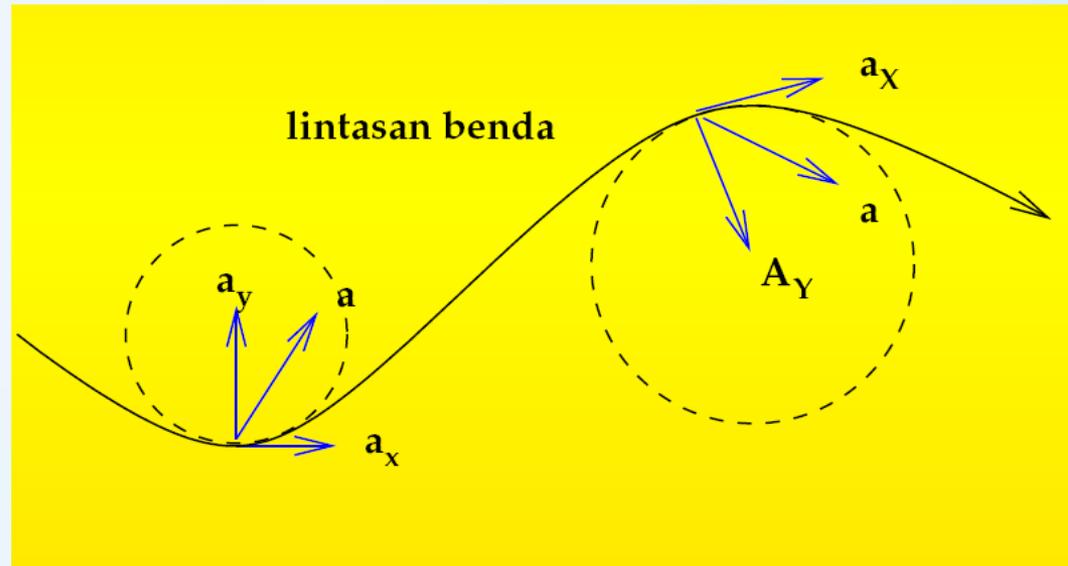
Percepatan total:

$$\vec{a}(t) = \vec{a}_r(t)\hat{i} + \vec{a}_r(t)\hat{j}$$

$$|\vec{a}(t)| = \sqrt{\vec{a}_t^2 + \vec{a}_r^2}$$

\vec{a}_t = percepatan tangensial

\vec{a}_r = percepatan radial



Percepatan tangensial:

$$\vec{a}_t = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Percepatan radial:

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

$$F_s = m \cdot a_s$$

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

$$F_s = m\omega^2 r$$

**Gaya
Sentri-
petal**

4. HUKUM GRAVITASI UNIVERSAL

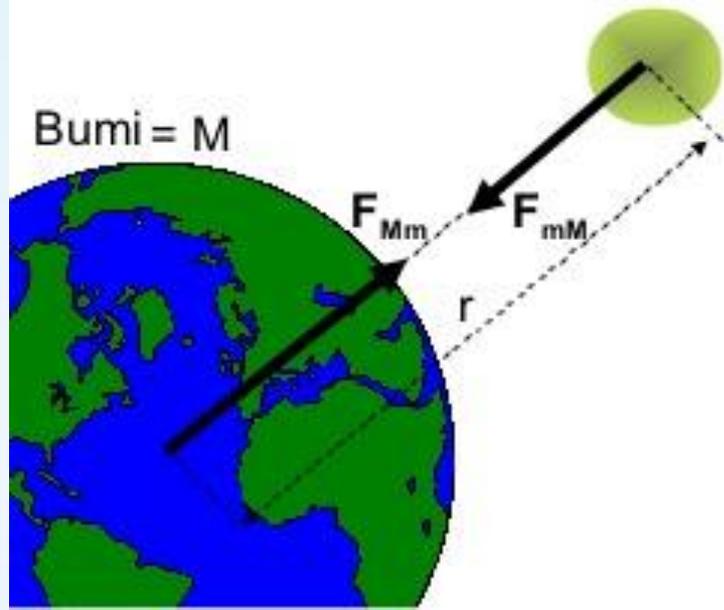


Gaya tarik menarik antara dua buah massa benda besarnya berbanding lurus dengan perkalian antara dua buah massa benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua massa benda tersebut.

$$F \propto \frac{Mm}{r^2} \rightarrow F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Bulan = m

Bumi = M



$$F = F_{Mm} = F_{mM}$$

F = gaya tarik menatik (N)

G = konstanta gravitasi universal = $6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$

M = massa bumi

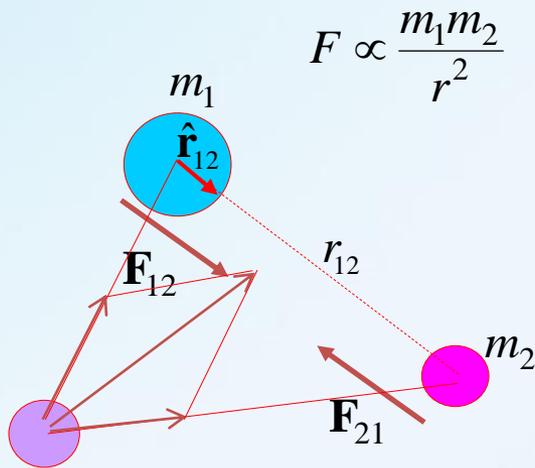
M = massa bulan

F_{Mm} = gaya tarik menarik pada bumi oleh bulan (N)

F_{mM} = gaya tarik menarik pada bulan oleh bumi (N)

1. Hukum Newton tentang Gravitasi Semesta

Setiap partikel di alam menarik partikel lain dengan gaya yang besarnya berbanding langsung dengan hasil kali masa kedua partikel tersebut dan berbanding terbalik dengan kwadrat jarak antara kedua massa tersebut.



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

konstanta gravitasi

$$\mathbf{F}_3 = \mathbf{F}_{31} + \mathbf{F}_{32}$$

$$G = 6.672 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

$$\mathbf{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$$

$$F_3 = \sqrt{F_{31}^2 + F_{32}^2 + 2F_{31}F_{32} \cos \theta}$$

Bagaimana gaya gravitasi oleh massa berbentuk bola ?

Gaya gravitasi pada massa m di permukaan bumi :

$$F = G \frac{M_B m}{R_B^2}$$

massa bumi (pointing to M_B)
Jari-jari bumi (pointing to R_B)

2. Berat Benda dan Gaya Gravitasi

Berat benda pada permukaan bumi

$$F = G \frac{M_B m}{R_B^2}$$

$$W = mg$$

$$g = G \frac{M_B}{R_B^2} \approx 9.80 \text{ m/s}^2$$

$\approx 6.38 \times 10^6 \text{ m}$
 $\approx 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
 $6.672 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

Bagaimana berat benda pada ketinggian h dari permukaan bumi ?

Jarak benda ke pusat bumi

$$F = G \frac{M_B m}{r^2}$$

$$r = R_B + h$$

$$F = G \frac{M_B m}{(R_B + h)^2}$$

$$W' = mg'$$

$$g' = G \frac{M_B}{(R_B + h)^2}$$

Semakin jauh dari permukaan bumi, percepatan gravitasi semakin kecil

3. Materi Pengayaan: Hukum Kepler

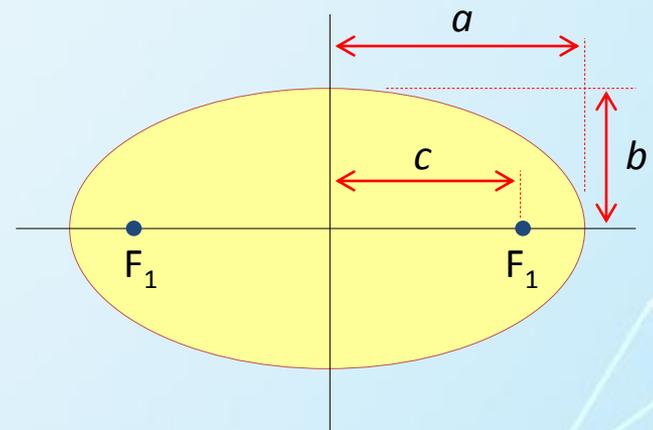
1. Semua planet beredar dalam lintasan elip dengan matahari sebagai fokus.
2. Vektor posisi setiap planet terhadap matahari dalam interval waktu yang sama menyapu luasan yang sama pula.
3. Kwadrat perioda orbit setiap planet sebanding dengan pangkat tiga dari sumbu mayor lintasannya.

Misal orbit planet terhadap matahari adalah lingkaran :

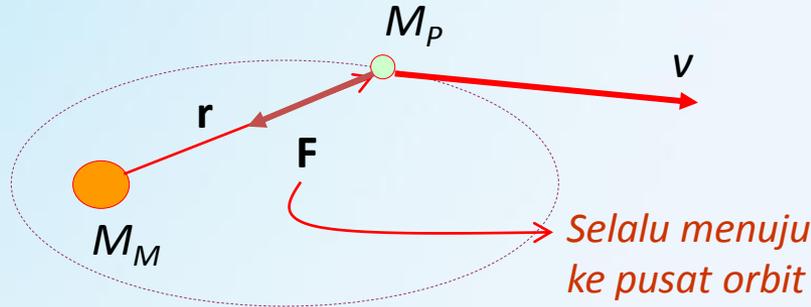
$$G \frac{M_M M_P}{r^2} = \frac{M_P v^2}{r} \quad \leftarrow 2\pi r/T$$

$$G \frac{M_M}{r} = (2\pi r/T)^2$$

$$\rightarrow T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_M} \right) r^3 \quad K_M$$



3.1 Hukum Kepler II dan Kekekalan Momentum Sudut

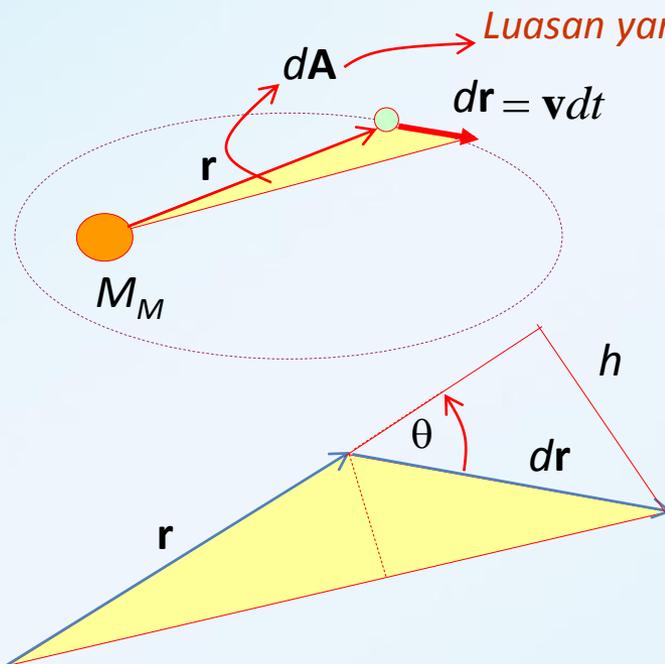


Momen gaya :

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = \mathbf{r} \times F(r)\hat{\mathbf{r}} = 0$$

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} = 0 \rightarrow \mathbf{L} = \text{konstan}$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = m(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \quad ?$$



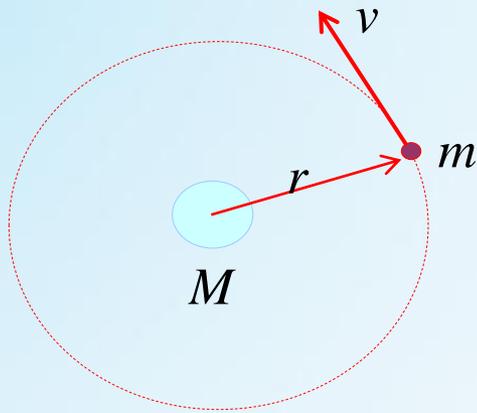
$$\left. \begin{aligned} dA &= \frac{1}{2} rh \\ h &= dr \sin \theta \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} dA &= \frac{1}{2} r dr \sin \theta = \frac{1}{2} |\mathbf{r} \times d\mathbf{r}| \\ &= \frac{1}{2} |\mathbf{r} \times \mathbf{v} dt| \\ |\mathbf{r} \times \mathbf{v}| &= 2 \frac{dA}{dt} = \frac{L}{m} \end{aligned}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{L}{2m} = \text{konstan}$$

Dalam interval waktu yang sama posisi \mathbf{r} menyapu luasan yang sama pula

3.2 Energi Gerak Planet dan Satelit



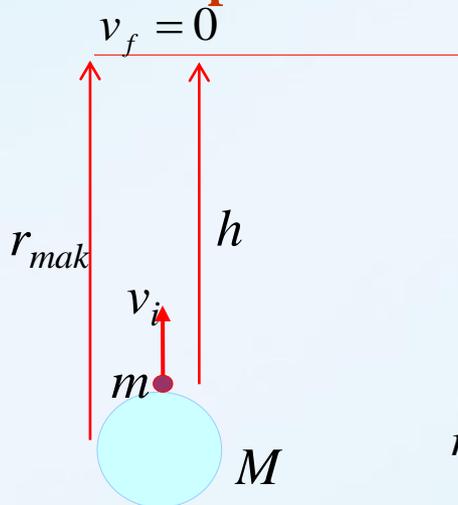
$$E = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r}$$

Hukum Newton II : $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$$

$$E = G\frac{Mm}{2r} - G\frac{Mm}{r} = -\frac{GMm}{2r}$$

Berapakah kecepatan minimum benda untuk lepas dari gravitasi bumi?



$$\frac{1}{2}mv_i^2 - G\frac{M_B m}{R_B} = -G\frac{M_B m}{r_{mak}}$$

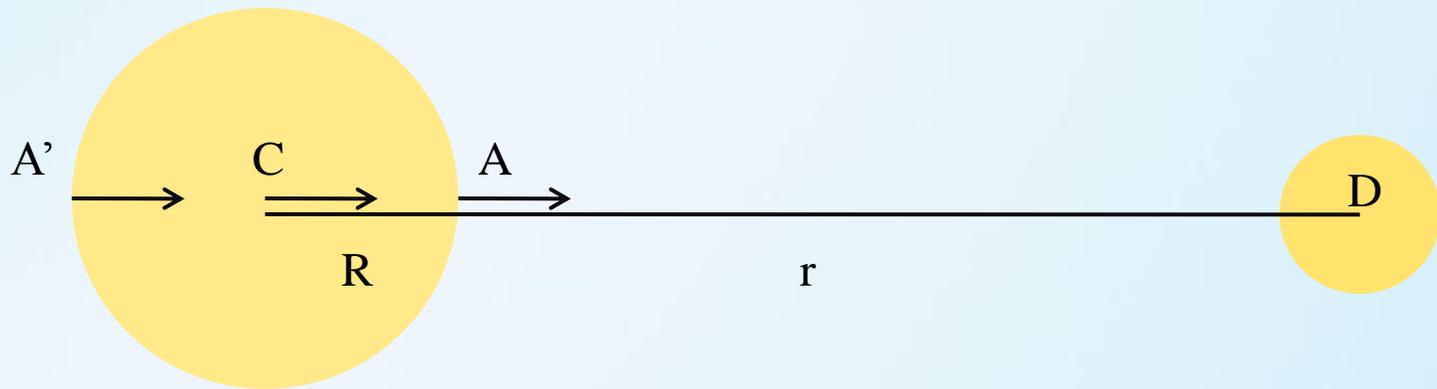
$$h = r_{mak} - R_B$$

$$v_i^2 = 2GM_B \left(\frac{1}{R_B} - \frac{1}{r_{mak}} \right)$$

$$r_{mak} \rightarrow \infty \longrightarrow v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM_B}{R_B}}$$

4. Gaya Pasang – Surut

- Merupakan perbedaan gaya yang dialami sebuah titik di permukaan planet dengan gaya yang bekerja di pusat planet.



- Menurut definisi di atas:

$$F_{ps} = F_A - F_C$$

- Terapkan Hukum Newton di titik A dan C untuk memperoleh:

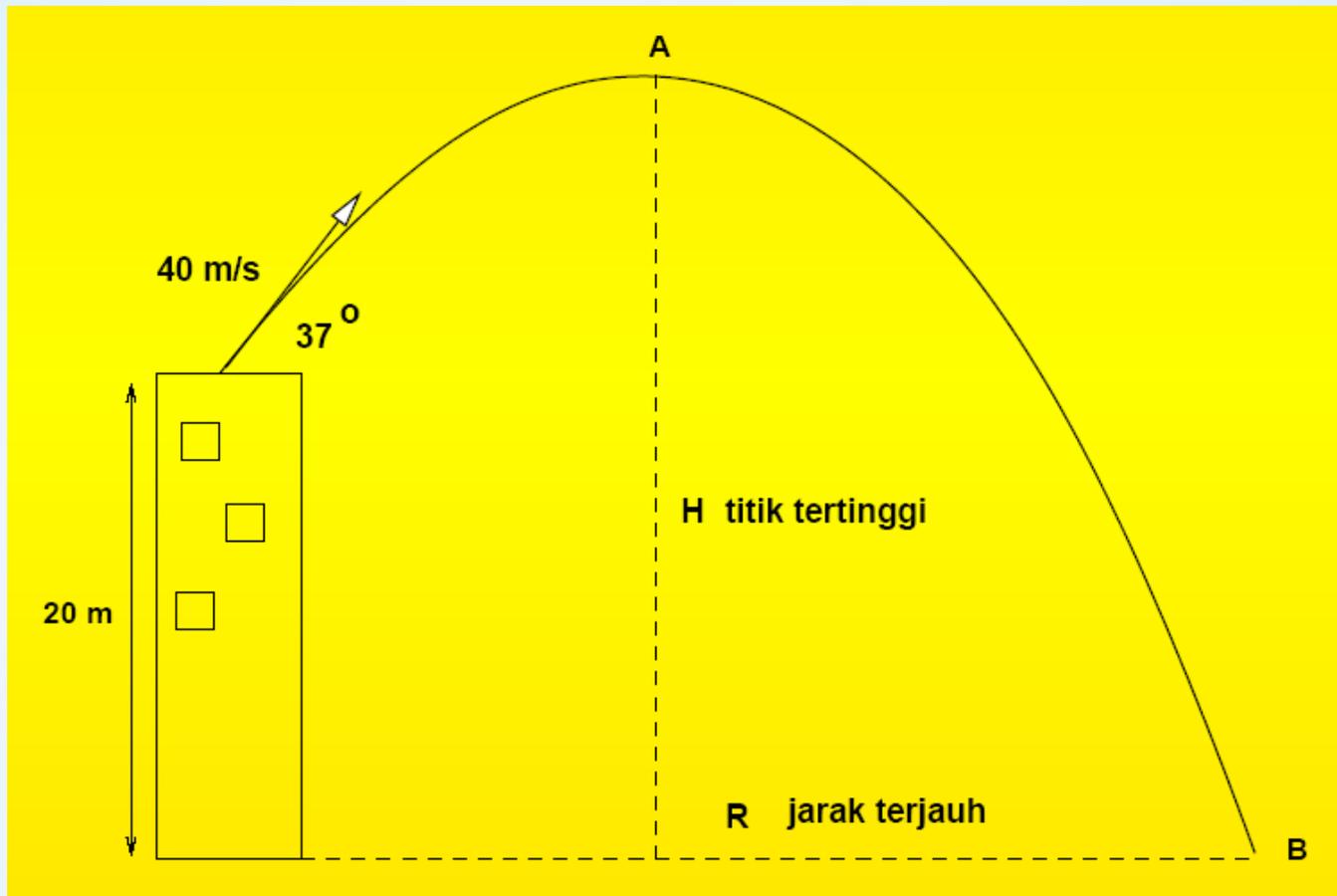
$$\mathbf{F}_{ps} = \mathbf{GMm} \left[\frac{1}{(r-R)^2} \right] - \mathbf{GMm} \left[\frac{1}{r^2} \right]$$

$$\mathbf{F}_{ps} = \mathbf{GMm} \left[\frac{2rR \left(1 - \frac{R}{2r} \right)}{r^4 \left(1 - \frac{R}{r} \right)^2} \right]$$

- Persamaan bentuk terakhir yang diperoleh di atas merupakan persamaan untuk menghitung besarnya gaya pasang – surut di daerah ekuator. Bagaimana untuk daerah di kutub?

LATIHAN 4

1. Sebuah peluru ditembakkan ke udara dengan $v_0 = 40 \text{ m/s}$ sudut elevasi 37° terhadap horisontal pada ketinggian 20 m. Carilah titik tertinggi dan terjauh.



2. Sebuah benda bergerak dalam bidang XY yang dinyatakan oleh : $x(t) = 2t^3 - t^2$; $y(t) = 3t^2 - 2t + 1$
Tentukan :
- Komponen kecepatan untuk masing-masing arah
 - Besar kecepatan pada $t = 1$ detik
3. Sebuah batu dijatuhkan dari mulut sebuah sumur. Dua sekon kemudian terdengar suara batu tersebut menyentuh permukaan air sumur. Tentukan kedalaman permukaan air sumur tersebut!
4. Peluru ditembakkan dengan kecepatan awal $\mathbf{v}_0 = (3 \mathbf{i} + 4 \mathbf{j})$ m/s dari ketinggian 10 m. Tentukan :
- Posisi tinggi maksimum
 - Lama peluru di udara
 - Posisi saat peluru sampai tanah
 - Kecepatan peluru saat sampai tanah

5. Sebuah bor listrik dengan kecepatan sudut awal 15 rad/s dan kelajuannya berubah dengan percepatan sudut tetap 5 rad/s^2 . Setelah 4 s , berapakah sudut total yang ditempuh oleh mata bor itu?
6. Tentukan persamaan yang menyatakan posisi sebuah sudut dari meja putar dengan kecepatan sudut tetap 50 rpm . Koordinat sudut awal adalah 4 rad .
7. Sebuah roda berjari-jari 50 cm bergulir dengan kecepatan sudut tetap 5 rad/s . Jika roda bergulir sebanyak 4 kali dalam 32 s , berapakah panjang lintasan yang ditempuh selama 5 menit?
8. Sebuah benda diukur beratnya di permukaan bumi 2500 N , jika benda berada pada ketinggian 2 kali jari-jari bumi dari permukaan bumi, maka tentukanlah berat benda pada ketinggian tersebut!
9. Dua buah benda digantungkan dengan seutas tali pada katrol silinder yang licin tanpa gesekan. Massa m_1 dan m_2 masing-masing 5 kg dan 3 kg . Tentukan percepatan beban dan tegangan tali.

10. Dua buah benda berada pada bidang yang sejajar. masing-masing benda memiliki massa yang berbeda. Massa benda pertama adalah 2500 kg dan 900 kg. Ke dua benda ini terpisah sejauh 10 m. Tentukanlah letak benda ke 3 yang bermassa 4500 kg harus diletakkan agar gaya gravitasi yang dialaminya nol!
11. Sebuah batu dengan massa 60 mg diikat pada seutas tali yang panjangnya $\frac{3}{4}$ m dan terayun vertikal dengan kecepatan v yang tetap. Jika tegangan maksimum pada tali sebesar 50 N, carilah v dan jumlah putaran per detik.
12. Seorang pengendara sepeda motor bergerak dengan kecepatan 8 m/s¹. Kemudian dia masuk jalan tikungan dengan radius 24 m. Berapakah besarnya sudut yang harus dia ambil supaya tidak masuk jurang?
13. Sebuah bola besi masanya 10 kg dan diikat dengan seutas benang yang digerakan dalam arah mendatar dengan jari-jari 5 m. Berapa ketegangan tali dan sudut yang dibentuknya?
14. Sebuah roda berputar terhadap sumbu Z dengan percepatan sudut: $\alpha = 2t + 5 \text{ rad s}^{-3}$. Tentukan kecepatan sudut pada $t = 5 \text{ s}$ dan persamaan posisi sudut $\theta(t)$ jika posisi awal sudut adalah 5 rad.