

530 / 89

MUR

g 1

# GERAKAN BENDA DALAM MEDAN GRAVITASI BUMI

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
KOLEKSI BIDANG ILMU  
TIDAK DIPINJAMKAN  
KUNJUNG DAPAT DALAM PERPUSTAKAAN

*O l e h*

**Dra. Nurhernawati**

MILIK UFT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

**Jurusan Pendidikan Fisika  
Fakultas Pendidikan Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam I K I P  
P a d a n g  
1989**

## KATA PENGANTAR

Buku ini ditulis dalam rangka membantu kekurangan sumber-sumber bacaan bagi mahasiswa dan pelajar yang berhubungan dengan masalah yang tercantum dalam fisika.

Kesulitan ini sering terjadi karena banyainya buku-buku yang ditulis dalam bahasa Inggris dan kurangnya buku bacaan yang ditulis dalam bahasa Indonesia dan juga rendahnya kemampuan mahasiswa dalam mempelajari sumber-sumber bacaan yang ditulis dalam bahasa Inggris.

Mudah-mudahan dengan adanya buku ini, bahan bacaan tentang fisika akan bertambah terutama sekali yang berhubungan dengan pelajaran fisika.

Dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan ribuan terima kasih kepada semua pihak yang dengan segala kerelaan hatinya membantu penulis baik secara langsung ataupun tidak langsung, dalam mewujudkan buku ini, semoga rahmat dan kurunia Allah dilimpahkan kepada mereka sesuai dengan amal dan kebaikan yang telah diberikannya.

Disamping itu penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulis buku ini sangat jauh dari sempurna. Oleh sebab itu Penulis sangat berterima kasih terhadap segala kritik yang bersifat membangun dari para pembaca, mudah-mudahan buku ini ada manfaatnya.

Penulis, 1988

## DAFTAR ISI

		Hal.
KATA PENGANTAR . . . . .		i
DAFTAR ISI . . . . .		ii
BAB	I PENDAHULUAN . . . . .	1
	A. Pengertian tentang Teori Gravitasi . . .	11
	B. Pengertian Gerakan-gerakan Benda . . .	3
BAB	II GERAKAN-GERAKAN BENDA . . . . .	5
	A. Gerak Parabola . . . . .	6
	1. Gerak Parabola yang Ditembakkan Mendatar	7
	2. Gerak Parabola yang sudut Elevasinya Lebih Besar dari Nol . . . . .	8
	B. Gerak Melingkar . . . . .	14
	1. Kecepatan . . . . .	15
	2. Percepatan . . . . .	18
	C. Hukum Gravitasi Newton . . . . .	26
	1. Percepatan Gravitasi . . . . .	29
	2. Variasi Harga $g$ . . . . .	32
	3. Density Bumi . . . . .	33
BAB	III GERAKAN BENDA DI DALAM MEDAN GRAVITASI . .	35
	A. Gerakan Benda yang Dekat Pada Bumi . .	35
	1. Gerak Parabola . . . . .	35
	2. Gerak Melingkar . . . . .	40
	B. Gerak Benda yang Jauh dari Bumi . . . .	43
DAFTAR KEPUSTAKAAN . . . . .		50

## BAB I

### PENDAHULUAN

Dalam bab ini, penulis ingin memberikan sedikit penjelasan tentang beberapa istilah yang akan dipakai pada penulisan ini. Guna menghindarkan tafsiran yang sam-pang siur tentang pengertian-pengertian yang akan dipakai, berikut ini akan dijelaskan pengertian tentang gravitasi, dan gerakan-gerakan benda.

#### A. Pengertian tentang Teori Gravitasi

Sebagaimana yang telah dikemukakan oleh Sir Isaac Newton pada tahun 1686 yang sering disebut dengan hukum Gravitasi Newton adalah sebagai berikut :

" Tiap-tiap partikel ( butir-butir ) materi dalam alam semesta ini menarik tiap-tiap partikel ( butir-butir ) lainnya dengan gaya yang besarnya berbanding langsung dengan hasil kali massa partikel ( butir-butir ) itu berbanding terbalik dengan kwadrat jaraknya." Dapat dirumuskan :

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

dimana  $m_1$  dan  $m_2$  adalah massa partikel ( butir-butir ) itu sendiri,  $r$  jaraknya dan  $G$  disebut tetapan gravitasi. Harga  $G$  belum dapat ditetapkan pada waktu itu, pada tahun 1798 Sir Henry Cavendish mengukur dan menetapkan harga dari  $G$  dengan mempergunakan alat suatu

neraca, yang dikenal dengan nama neraca Cavendish.

Dengan melihat hukum di atas, maka kita dapat menyebutkan bahwa hukum gravitasi itu bukanlah hanya terjadi pada suatu benda terhadap bumi saja, melainkan benda-benda (partikel-partikel) terhadap benda lainnyapun mempunyai gaya gravitasi satu sama lain. Tetapi pembahasan dalam penulisan ini, penulis lebih memusatkan pada gaya gravitasi bumi. Gaya gravitasi bumi ini sebenarnya adalah gaya berat benda itu sendiri. Gaya itu merupakan gaya atraksi yang garis kerjanya berada pada sepanjang garis yang menghubungkan pusat massa benda dengan pusat bumi dan arahnya akan selalu menuju ke pusat bumi.

Sebagai contoh, misalnya apabila kita melemparkan suatu benda, benda akan terlempat dari tangan kita. Selanjutnya, pada waktu benda itu terlempar dan sebelum berhenti dalam gerakannya, benda akan menda-pat gaya tarik ke bawah oleh berat bendanya sendiri.

Percepatan yang diakibatkan oleh gaya berat merupakan hal yang penting dalam perhitungan Astronout dan mempunyai lambang "g". Besar gaya g berubah-ubah sesuai dengan jarak dari pusat bumi dan komposisi da-ri zat-zat permukaan bumi.

Dengan demikian gaya berat atau berat suatu ben-da adalah gravitasi bumi yang bekerja pada benda ter-sebut dan gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara

suatu partikel dengan partikel lainnya, dimana gaya tersebut berbanding langsung dengan hasil perkalian massanya dan berbanding terbalik dengan kwadrat jarak diantaranya.

Jadi pengertian gaya berat dengan gravitasi ini sebenarnya adalah sama, hanya gaya berat adalah yang terlebih dahulu dikenal dan gaya berat ini arahnya senantiasa menuju ke pusat bumi, sedangkan gravitasi bukan hanya terjadi antara partikel dengan bumi saja melainkan partikel dengan partikel lainpun mempunyai gravitasi (gaya tarik) satu sama lain.

**B. Pengertian Gerakan-gerakan Benda**

Suatu benda akan bergerak apabila diberikan suatu gaya pada benda tersebut, dan sebuah benda dikatakan bergerak apabila benda itu berubah tempatnya terhadap lingkungan yang tetap, dengan kata lain gerak adalah perubahan posisi (tempat) kedudukan benda secara terus-menerus terhadap suatu kerangka acuan.

Tadi kita telah mengetahui bahwa benda itu bergerak apabila diberikan suatu gaya pada benda tersebut. Kalau benda itu bergerak, benda akan mempunyai lintasan, dan lintasan-lintasan dari gerakan benda tersebut berbeda-beda yaitu berbentuk garis lurus dan garis lengkung. Yang berbentuk garis lurus disebut gerak lurus dan yang berbentuk garis lengkung kita sebut gerak lengkung.

4

Gerak lengkung masih dapat kita bagi lagi menjadi gerak lengkung datar dan gerak lengkung ruang. Di sini yang akan kita bicarakan pada pembahasan selanjutnya adalah mengenai gerak lengkung datar yaitu gerak parabola dan gerak melingkar.

Sebelum kita menginjak pada gerak lengkung, marilah kita tinjau dulu apa yang dimaksud dengan gerak lurus. Gerak lurus adalah gerakan benda-benda yang mempunyai lintasan berbentuk garis lurus dan pada umumnya lintasan suatu benda yang bergerak merupakan fungsi dari waktu, atau  $X = f(t)$  dimana  $X$  = lintasan dan  $t$  = waktu.

Bentuk istimewa dari gerak lengkung datar adalah gerak melingkar. Gerak melingkar adalah gerak benda atau titik massa yang lintasannya berbentuk sebuah lingkaran. Hal ini dapat kita bedakan dengan gerak parabola, dimana gerak parabola adalah gerakan benda atau titik massa yang lintasannya berbentuk parabola. Gerak parabola ini sering kita jumpai sehari-hari dan disebut gerak lintasan peluru.

Perlu diketahui juga bahwa pokok bahasan pada tulisan ini bertitik tolak dengan gerak parabola dan gerak melingkar baik yang berlaku pada dekat permukaan dan yang jauh dari permukaan bumi.

Demikianlah penjelasan tentang pengertian gravitasi dan gerakan-gerakan benda. Untuk penguraian selanjutnya, mari kita menginjak pada bab II, yaitu pembahasan tentang gerakan benda.

## BAB II

### GERAKAN-GERAKAN BENDA

Sebagaimana telah diuraikan pada bab terdahulu bahwa terdapat dua macam gerakan benda, yaitu gerak lurus dan gerak melengkung. Gerak lurus dapat pula dibagi atas :

a. Gerak lurus beraturan

Yaitu gerak lurus dengan kecepatannya tiap saat selalu tetap dan percepatan sama dengan nol.

b. Gerak lurus berubah beraturan

Yaitu gerak lurus dengan percepatan tetap, atau suatu benda bergerak dengan dan kecepatannya selalu berubah secara beraturan.

- Gerak lurus dipercepat beraturan

Suatu benda bergerak pada garis lurus dan kecepatannya setiap saat selalu bertambah.

Tambahan kecepatan tiap saat itu selalu sebanding dengan waktunya.

Tambahan kecepatan setiap saat disebut percepatan ( + a )

- Gerak lurus diperlambat beraturan

Suatu benda bergerak pada garis lurus dan kecepatannya berkurang tiap saat, pengurangan kecepatan sebanding dengan waktu.

Pengurangan kecepatan setiap saat disebut perlambatan ( - a ).



### c. Gerak lurus berubah-ubah.

Tentang gerak melengkung, penulis akan memusatkan penganalisaan atas gerak parabola dan gerak melingkar.

#### A. Gerak Parabola

Gerak parabola adalah gerakan benda yang lintasannya berbentuk parabola. Gerak parabola sering juga disebut gerak peluru. Lintasan peluru ini berupa garis lengkung, arah kecepatan titik pada suatu saat ditentukan dengan garis singgung pada lintasan itu. Karena garis singgung ini dapat dibuat banyak, maka besar dan arah dalam gerakan selalu berubah untuk menentukan tempat atau posisi peluru pada suatu waktu, maka kecepatan hendaklah kita uraikan terhadap sumbu X dan sumbu Y. Gerak parabola (peluru) ini terjadi apabila sebuah benda pada suatu saat dipengaruhi oleh gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan. Hal ini terjadi kalau suatu benda dilemparkan dengan suatu kecepatan awal tertentu; Ini terjadi apabila sebuah benda pada suatu saat dipengaruhi oleh gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan. Hal ini terjadi kalau suatu benda dilemparkan dengan suatu kecepatan awal tertentu.

Gerak lurus beraturan di sini adalah benda bergerak lurus searah dengan arah vektor kecepatan

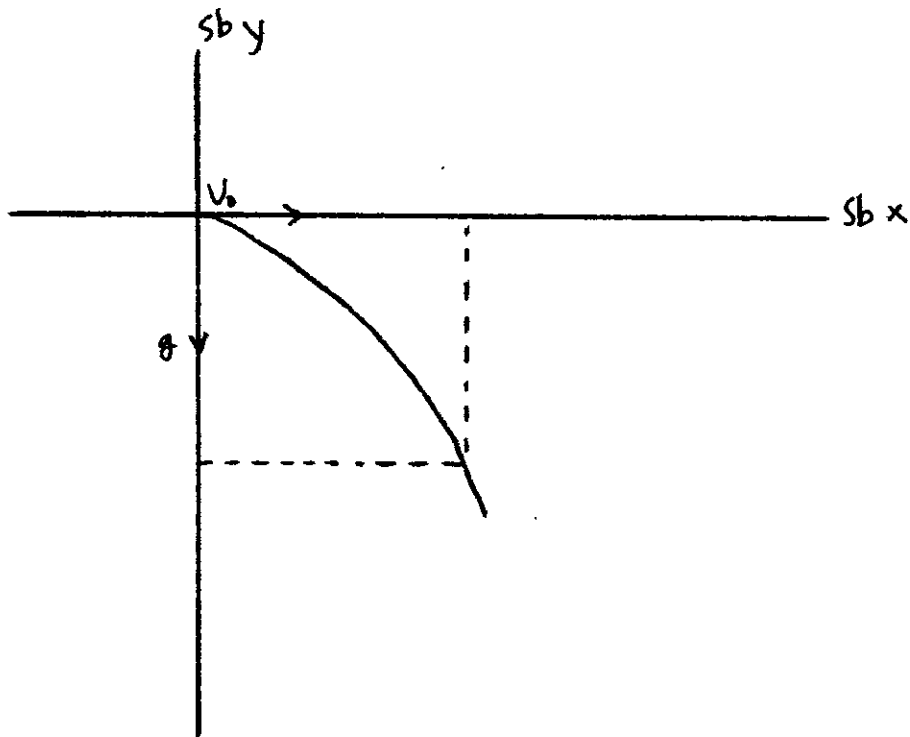
awal ( $V_0$ ), tetapi karena adanya percepatan gravitasi yang arahnya vertikal ke bawah, maka benda tersebut juga dipengaruhi oleh gerak lurus berubah beraturan. Akhirnya benda ini bergerak dengan lintasan berbentuk parabola. Hal ini terjadi pada semua benda yang dilontarkan dengan kecepatan awal tertentu maka sering disebut juga gerak peluru.

Berdasarkan arah kecepatan awal maka dapat dibedakan atas :

1. Gerak parabola yang ditembakkan mendatar (sudut elevasi sama dengan nol).

Pada gerak ini benda akan membentuk parabola. Untuk jelasnya marilah kita lihat pada contoh berikut ini.

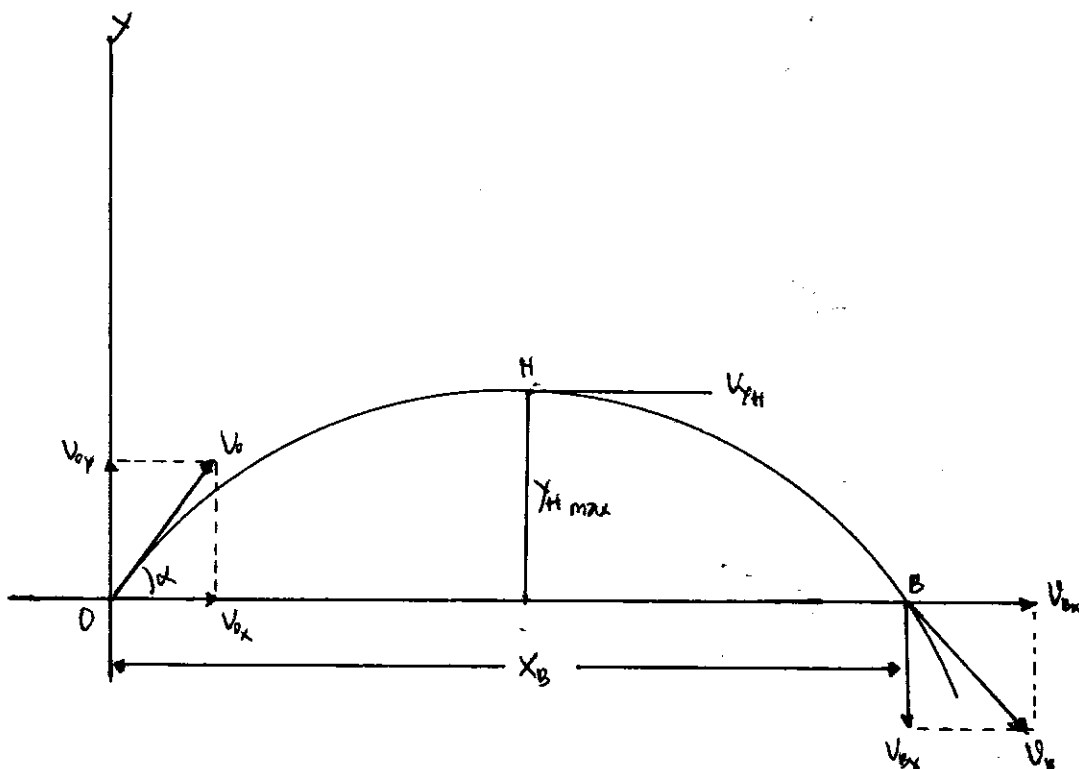
Gambar 2-1



Apabila suatu benda kita tembakkan dengan kecepatan awal  $V_0$  arah mendatar dan searah dengan sumbu X positif, maka kedudukan benda menurut arah sumbu X dapat kita tentukan dengan meninjaunya sebagai gerak lurus beraturan. Setelah waktu  $t$ , koordinat X benda itu adalah  $X = V_0 \cdot t$ . Sedangkan gerak vertikal benda itu searah dengan sumbu Y negatif. Koordinat Y negatifnya setelah waktu  $t$  adalah  $Y = -1/2 gt^2$ .

2. Gerak parabola yang sudut elevasinya lebih besar dari nol. Pada gerak ini arah gerak benda akan membentuk parabola. Untuk jelasnya, marilah kita perhatikan contoh berikut ini.

Gambar 2-2



Gambar 2-2. Sebuah bola dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal  $V_0$  dan arahnya membentuk sudut  $\alpha$  dengan bidang mendatar (sudut elevasi).

Vektor  $V_0$  dapat diuraikan atas :

$$\text{Komponen mendatar } V_{0x} = V_0 \cos \alpha$$

$$\text{Komponen vertikal } V_{0y} = V_0 \sin \alpha$$

Sudut  $\alpha$  = sudut elevasi (sudut lemparan dengan sumbu horizontal).

Gerak mendatar : Kecepatan mendatar  $V_x = V_{0x} = V_0 \cos \alpha$

$$\begin{aligned} \text{Perpindahan mendatar } X &= V_{0x} \cdot t \\ &= V_0 \cos \alpha \cdot t \end{aligned}$$

Gerak Vertikal : Kecepatan vertikal ;

$$\begin{aligned} V_y &= V_{0y} - g \cdot t \\ &= V_0 \sin \alpha - g \cdot t \end{aligned}$$

Perpindahan vertikal :

$$\begin{aligned} Y &= V_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \\ &= V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \end{aligned}$$

Bola mencapai tinggi maksimum saat kecepatan vertikal mencapai harga nol. Misalnya bola mencapai tinggi di titik H.

Gerak vertikal: Kecepatan di titik tertinggi  $V_{yH} = 0$

$$V_{yH} = V_{0y} - g \cdot t_H$$

$$0 = V_{0y} - g \cdot t_H$$

$$g \cdot t_H = V_{0y} \quad \text{-----} \quad V_{0y} = V_0 \sin \alpha$$

$$t_H = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$$

$t_H$  = waktu untuk mencapai tinggi maksimum.

Perpindahan vertikal :

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= V_{0y} \cdot t_H - \frac{1}{2} g \cdot t_H^2 \\ &= V_0 \sin \alpha \cdot \frac{V_0 \sin \alpha}{g} - \frac{1}{2} g \cdot \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \\ &= \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{1}{2} \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \\ &= \frac{1}{2} \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \\ &= \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \end{aligned}$$

Jadi tinggi maksimum yang dicapai :

$$Y_{\max} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Sarat penembakan paling tinggi (tinggi maksimum) :

$$\sin^2 \alpha = \max$$

$$\sin \alpha = \max = 1$$

$$\text{jadi } \alpha = 90^\circ$$

Jadi penembakan paling tinggi bisa dicapai bila  $\alpha = 90^\circ$

Setelah penembakan bola mencapai titik maksimum, akhirnya bola akan jatuh ke tanah kembali, bola jatuh di tanah bila  $Y = 0$ .

Pada gerak vertikal ;  $Y_B = 0$

$$Y_B = V_{0y} \cdot t_B - 1/2 g \cdot t_B^2$$

$$0 = V_{0y} \cdot t_B - 1/2 g \cdot t_B^2$$

$$V_{0y} \cdot t_B = 1/2 g \cdot t_B^2$$

$$V_0 \cdot \sin \alpha \cdot t_B = 1/2 g \cdot t_B$$

$$V_0 \sin \alpha = 1/2 g \cdot t_B$$

$$t_B = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$$

$$t_B = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

Jadi waktu untuk naik dan sampai di tanah kembali adalah :

$$t_B = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

Gerak mendatar; Kecepatan  $V_{0x} = V_0 \cos \alpha$

Perpindahahn mendatar dari titik O ke titik B adalah jauh lemparan bola.

$$X_{OB} = V_{0x} \cdot t_B$$

$$= V_0 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot V_0 \sin \alpha}{g}$$

$$= \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$$

Tembakan paling jauh dicapai  $X_{OB} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$

Agar  $X_{OB}$  mencapai harga sebesar-besarnya saratnya

$\sin 2 \alpha = \text{maksimum}$

$$\sin 2 \alpha = \max$$

$$\sin 2 \alpha = 1$$

$$2 \alpha = 90^\circ$$

$$\alpha = 45^\circ$$

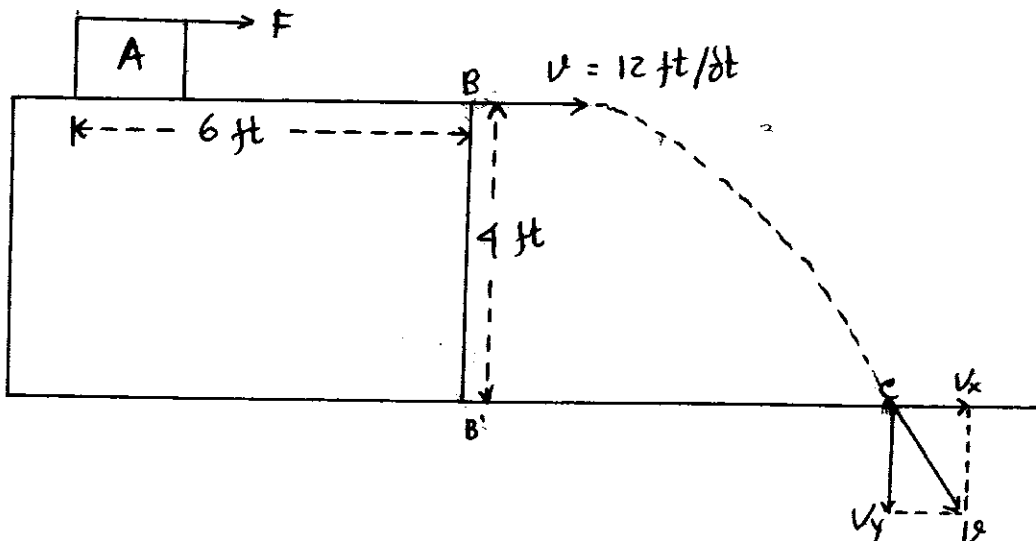
Maka syarat mencapai lemparan terjauh =  $45^\circ$

Contoh soal :

Sebuah balok berat 8 lb terletak di atas meja tanpa gesekan, dan tingginya 4 ft. Balok berada 6 ft dari tepi meja. Sebuah gaya  $F$  bekerja pada balok, jika balok meninggalkan meja dengan kecepatan 12 ft/dt.

- Berapa besarnya gaya  $P$  ?
- Hitunglah jarak mendatar dari tepi meja dengan jatuhnya balok di lantai
- Hitunglah komponen horizontal dan vertikal dan kecepatan balok tiba di lantai.

Jawab :



$$\begin{aligned}
 \text{a. } A \text{ --- } B \text{ --- } Vt^2 &= V_0^2 + 2 a X \\
 12^2 &= 0 + 2 a 6 \\
 144 &= 12 a \\
 a &= 12 \text{ ft/dt}^2
 \end{aligned}$$

$$F = m \cdot a$$

$$F = \frac{w}{g} \cdot a$$

$$F = \frac{8}{32} \cdot 12$$

$$F = 3 \text{ lb.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } BB' = S_{xy} &= V_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2 \\
 4 &= 0 + \frac{1}{2} \cdot 32 \cdot t^2 \\
 4 &= 16 t^2 \\
 t &= \frac{1}{2} \text{ detik.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B'C = S_x &= V_x \cdot t \\
 &= V_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\
 &= 12 \cdot \cos 0 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 12 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 6 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Jadi jarak mendatar = 6 ft

$$\begin{aligned}
 \text{c. } V_x &= \text{konstan} \\
 &= V_0 \cdot \cos 0 = 12 \text{ ft/dt} \\
 V_y &= V_{0y} + g \cdot t \\
 &= 0 + 32 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 16 \text{ ft/dt}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 v^2 &= (v_x)^2 + (v_y)^2 \\
 v &= 12^2 + 16^2 \\
 &= 144 + 256 \\
 &= 400 \\
 &= 20 \text{ ft/dt}
 \end{aligned}$$

Jadi kecepatan tiba di tanah = 20 ft/dt.

Demikianlah sedikit uraian mengenai gerak parabola dan untuk penjelasan yang lebih terperinci akan penulis bahas pada bab III

## B. Gerak Melingkar

Tadi telah kita katakan bahwa gerak melingkar itu adalah suatu gerak benda atau titik massa yang lintasannya berbentuk lingkaran.

Dalam gerak melingkar kita mengenal adanya :

1. Kecepatan linier (  $V$  )
2. Kecepatan sudut (  $W$  )
3. Percepatan linier (  $a$  )
4. Percepatan sudut (  $\omega$  )
5. Lintasan linier (  $S$  )
6. Lintasan sudut (  $\theta$  )

Selain hal-hal tersebut di atas, kita juga mengenal hubungan  $\theta = S/R$  atau  $S = R \theta$ , dimana  $\theta$  adalah besar sudut dalam radial;  $S$  adalah panjang busur dan  $R$  adalah jari-jari.

Untuk membahas gerak melingkar, antara lain kita

perlu terlebih dahulu mengetahui beberapa hal yang mempunyai pertautan erat dengannya, antara lain :

### 1. Kecepatan

Sekarang marilah kita tinjau pergeseran dari kecepatan suatu titik tertentu dalam benda putar. Tiap-tiap titik di dalam sebuah benda yang berputar pada sumbu tertentu, bergerak pada sebuah lingkaran yang pusatnya terletak pada pusat sumbu lingkaran tersebut. Kalau sebuah benda mengelilingi suatu lingkaran dengan kecepatan tetap, kita dapat menghitung kecepatan benda itu berkeliling dengan memakai rumus :

$$S = V t$$

$$V = \frac{S}{t}$$

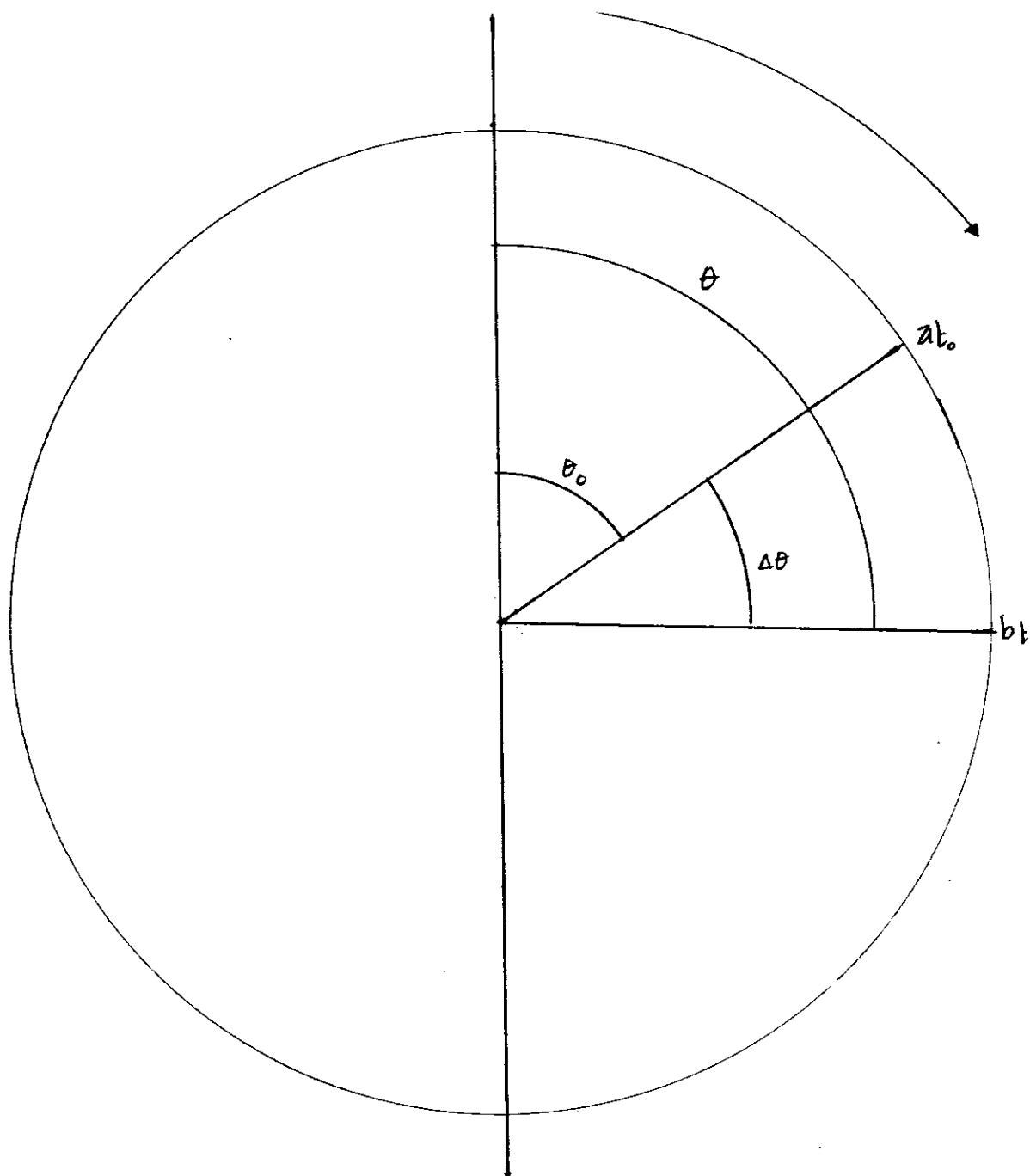
Dimana  $V$  adalah kecepatan

$S$  adalah jarak yang ditempuh

$t$  adalah waktu

Kalau lintasan yang ditempuh misalnya satu kali putaran sempurna, maka lintasannya adalah keliling lingkaran. Kecepatan liniernya akan menjadi :

$V = \frac{2\pi R}{t}$  cm/dt. Bila benda tadi bergerak dari suatu titik yang lain pada suatu lingkaran, maka jari-jarinya telah berputar melalui suatu sudut tertentu.



Gambar :2-3

530  
NUR  
J.

Perhatikan gambar 2-3. Pada gambar tersebut  $O_a$  adalah posisi suatu benda pada saat  $t_0$ .  $O_b$  adalah sesaat kemudian yaitu pada saat  $t$ . Besar sudut yang ditempuh pada saat  $t_0$  adalah  $\theta_0$  dan sesaat kemudian atau pada saat  $t$  adalah  $\theta$  yang diukur dari garis vertikal. Ini diambil sebagai pangkal perhitungan.

Perubahan sudut posisi adalah  $\theta - \theta_0 = \Delta\theta$ . Kecepatan sudut rata-ratanya dinyatakan dengan  $\omega$  (omega) yaitu perbandingan antara pergeseran sudut dengan selang waktu. Adapun untuk mengetahui kecepatan sudut rata-ratanya, dipergunakan rumus :

$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{\Delta t - t_0} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \text{ radial/detik}$$

Sedangkan kecepatan sudut sesaat  $\omega$  adalah limit perbandingan pergeseran dengan selang waktu :

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \text{ radial/detik}$$

Pada selang waktu  $T$  atau satu kali putaran sempurna, besar sudut yang ditempuh adalah  $2\pi$  radial, maka :  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  radial/detik

Karena :  $v = \frac{2\pi R}{T}$  dan  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

maka :  $v = \omega R$

$v$  = kecepatan linier

$\omega$  = kecepatan anguler (kecepatan sudut)

$R$  = Jari-jari

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
KOLEKSI BIDANG ILMU  
TIDAK DIPINJAMKAN  
KHUSUS DIPAKAI DALAM PERPUSTAKAAN

Setelah kita mengetahui perbedaan rumus dari kecepatan sudut rata-rata dan kecepatan sudut sesaat kedua rumus dapat dipakai pada gerak melingkar sembarang yang kecepatan sudutnya tidak konstan. Tetapi jika sebuah benda berputar dengan kecepatan sudut yang konstan maka kecepatan sesaatnya sama dengan kecepatan sudut rata-ratanya, walau bagaimanapun selang waktunya. Dalam kecepatan sudut konstan ini, kita dapat mempergunakan rumus :

$$W = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0} \quad \text{-----} \quad \theta - \theta_0 = W ( t - t_0 )$$

Bila  $t_0$  dan  $\theta_0$  sama dengan nol, maka  $\theta = Wt$ .

## 2. Percepatan

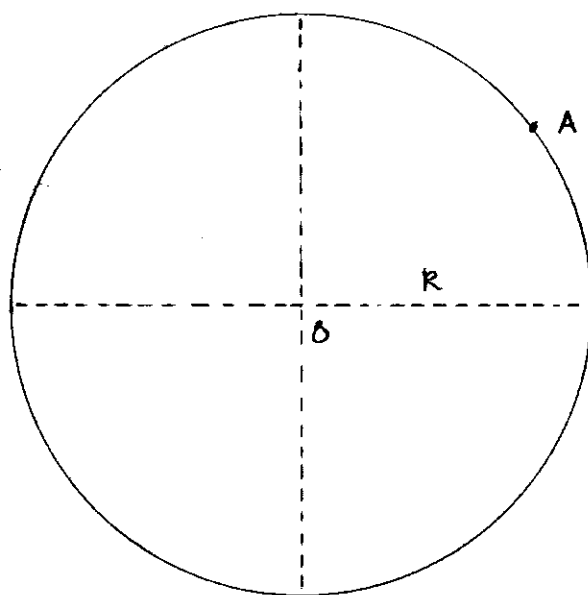
Percepatan adalah cepatnya rata-rata perubahan kecepatan.

Sebagai contoh, misalkan sebuah benda yang berada dalam keadaan diam mendapat gerak dipercepat beraturan dengan percepatan  $a$  cm/det<sup>2</sup> yang besarnya tetap. Ketika benda itu dalam keadaan diam kecepatannya = 0, setelah satu detik kemudian kecepatannya  $a$  cm/det, setelah dua detik kemudian kecepatannya sama dengan  $2a$  cm/det, dan setelah  $t$  detik kecepatannya menjadi  $at$  cm/det. Kalau kecepatannya setelah  $t$  detik kita sebut  $V_t$ , maka :

$$V_t = at \quad \text{-----} \quad a = \frac{V_t}{t}$$

Pada rumus di atas adalah menunjukkan percepatan suatu benda (sebuah titik materi) yang dipercepat beraturan. Karena kita telah mengetahui bahwa kecepatan itu adalah besaran vektor yaitu mengandung besar dan arah, maka pada rumus  $a = Vt/t$  ini adalah hanya berubah besarnya saja, sedangkan arahnya tidak berubah. Dan dalam hal ini juga kita harus ingat bahwa kecepatan suatu titik (benda) yang sedang bergerak itu akan berubah bila besarnya berubah atau arahnya berubah ataupun besar dan arahnya bersamaan berubah. Dengan demikian sebuah titik materi yang bergerak melingkar dapat mempunyai percepatan yang diperlukan untuk perubahan besar dan arah kecepatan. Dalam pembahasan ini penulis lebih memusatkan pada gerak melingkar beraturan.

Gambar 2-4



Pada gambar 2-4, Titik A bergerak mengelilingi lingkaran o dengan jari-jari R. Keliling lingkaran adalah  $= 2\pi R = S$ . Dan waktu keliling (1 perioda) = T

Sehingga :  $S = V \times T$

Untuk satu keliling :  $S = V \times T$

$$2\pi R = V \times T$$

$$V = \frac{2\pi R}{T} \quad \text{m/det.}$$

Dimana ; V = Kecepatan linier = panjang = kecepatan tangensial

R = Jari-jari

T = Perioda

\* Kecepatan V tetap (= laju tetap)

\* Arah V selalu berubah (merupakan garis singgung).

Untuk mengubah arah kecepatan (v) ada gaya percepatan sentripetal ( $a_r$ ) atau disebut juga percepatan radial (terletak pada jari-jari).

$$a_r = \frac{v^2}{R} \quad \text{m/det}^2$$

Disamping ada kecepatan linear, juga ada kecepatan angular ( $\omega$ ) atau disebut juga dengan kecepatan sudut. Sudut yang dilalui dalam waktu T adalah  $360^\circ = 2\pi$  radian (radial)

Kecepatan angular =  $= \frac{2\pi}{T}$  radian/det

$$V = \frac{2\pi R}{T} = \omega R$$

$$a_r = \frac{v^2}{-R} = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2}$$

$$a_r = \omega^2 R$$

Arah  $a_r$  menuju pusat lingkaran, dinamakan gaya sentripetal (percepatan sentripetal = percepatan radial).

Gaya yang menjauhi pusat lingkaran dinamakan gaya sentrifugal.

Dari :  $F = m a$  -----  $a = \frac{v^2}{R}$

maka  $F = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R$

$F$  = gaya sentrifugal.

Bila kecepatan anguler ( $\omega$ ) dari suatu titik berubah maka titik tersebut mempunyai percepatan anguler :

$$\omega = \omega_0 + a_r \cdot t$$

Dimana  $\omega$  = kecepatan anguler sekarang

$\omega_0$  = kecepatan anguler muka-mula

$a_r$  = percepatan anguler

$t$  = waktu

Setelah mendapat penjelasan bahwa gerak melingkar beraturan kelajuan adalah tetap, sedangkan kecepatan berubah-ubah. Kalau kecepatan berubah-ubah berarti bahwa di sini terdapat percepatan; dan dapat dalam rumus sebagai berikut :

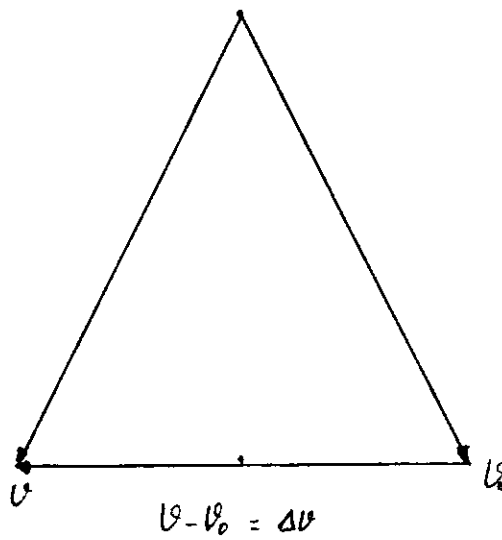
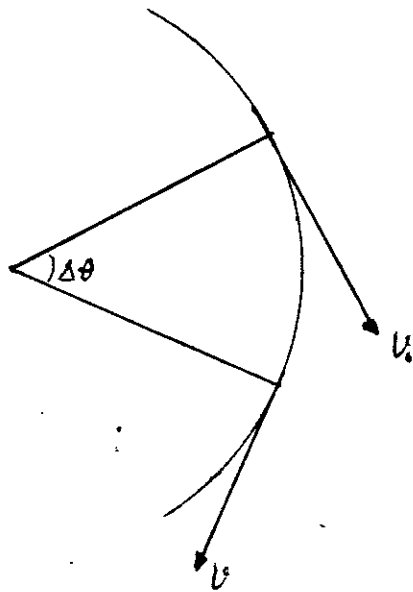
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$\Delta v$  = perubahan kecepatan

$\Delta t$  = selang waktu.



Gambar 2-5



Setelah penulis memperhatikan gambar dengan

seksama, maka penulis mendapat penjelasan bahwa  $\Delta\theta$  sangat kecil, maka :  $\Delta\theta = \Delta V/V$ . ———  $\Delta V = V \cdot \Delta\theta$  dan persamaan ini kita bagi dengan  $\Delta t$ .

$$V/\Delta t = V \cdot \Delta\theta/\Delta t.$$

Untuk  $\Delta\theta$  mendekati nol, maka :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = V \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}, \text{ sedangkan}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = a = \text{percepatan sesaat; dan}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = W = \text{kecepatan sudut sesaat}$$

$$\text{Maka :} \quad a = VW$$

Karena percepatan sesaat,  $\Delta\theta$  sangat kecil dan vektor  $V_0$  dan  $V$  makin lama makin berimpit, sehingga sudut yang dibentuk oleh kedua vektor ini dengan vektor  $\Delta V$  mendekati sudut siku-siku, maka percepatan sesaat adalah tegak lurus kecepatan tangensial dan menuju pusat. Oleh sebab itu sering disebut percepatan radial yang diberi simbol  $a_R$ .

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis dapat melukiskan hubungan antara percepatan radial dengan kecepatan sudut, yaitu :

$$a_R = V W, \text{ sedangkan } V = W R \text{ maka: } a_R = W^2 R$$

$a_R$  = percepatan radial

$W$  = kecepatan sudut

$R$  = jari-jari.

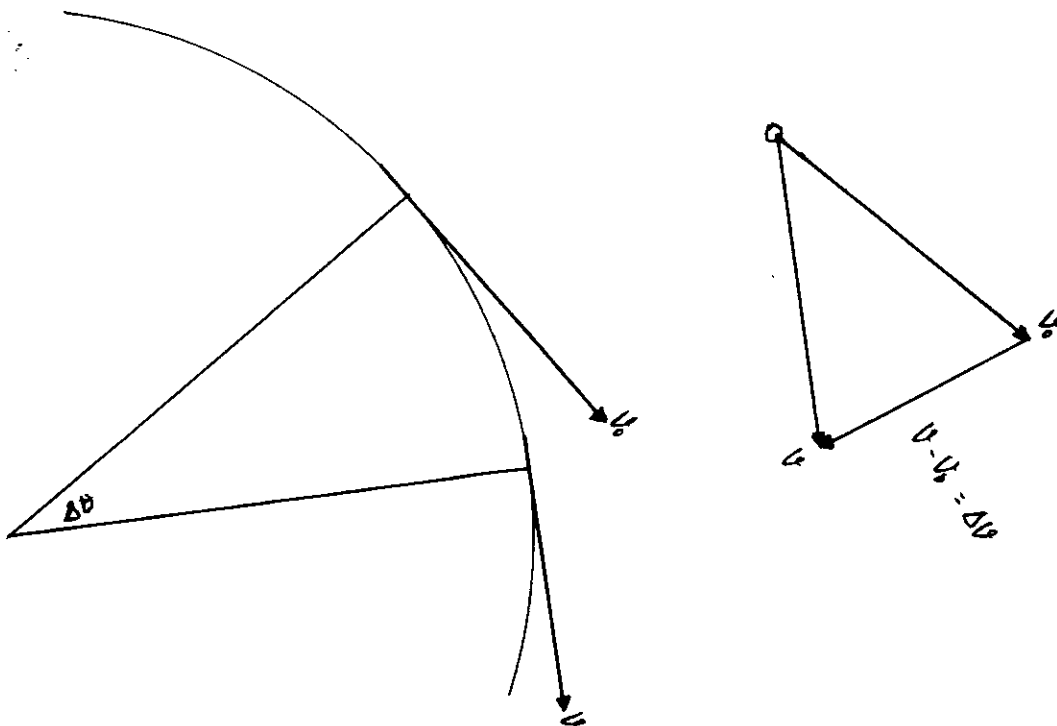
Maka pada benda yang bergerak melingkar, percepatan rata-rata adalah selisih vektor kecepatan dibagi dengan selang waktu, yaitu :

$$a = \frac{V - V_0}{t - t_0} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ cm/det}^2$$

Setelah kita mengetahui tentang percepatan rata-rata, sekarang kita mengenal lagi istilah percepatan sesaat. Percepatan sesaat dapat didefinisikan limit dari percepatan rata-rata untuk  $t$  mendekati nol, maka:

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

Untuk lebih jelasnya marilah kita lihat pada gambar 2-6 di bawah ini.



Karena pada percepatan sesaat sudut yang ditempuh kecil sekali, yaitu  $\Delta\theta$  sangat kecil maka :

$$\Delta\theta = \frac{\Delta V}{V} \quad \text{-----} \quad \Delta V = V \cdot \Delta\theta$$

kalian rumus di atas kita bagi dengan  $\Delta t$ , maka akan kita dapatkan :

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = V \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad , \text{ untuk } t \text{ mendekati nol, maka :}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = V \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

sedangkan kita telah mengetahui bahwa :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = a \quad \text{dan} \quad \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = W$$

maka :  $a = V W$  ;  $a =$  percepatan sesaat.

Semakin kecil sudut  $\Delta\theta$ , vektor  $V_0$  dan  $V$  makin lama makin berimpit dan sudut yang dibentuk oleh kedua vektor ini dengan vektor  $\Delta V$  mendekati sudut siku-siku, dimana dalam limit vektor  $\Delta V$  ( $dV$ ) tetap tegak lurus pada  $V$ . Oleh sebab itu percepatan sesaat adalah tegak lurus pada kecepatan tangensial dan arahnya menuju pusat atau sepanjang radius. Maka hal ini sering disebut percepatan radial dan diberi simbol  $a_R$ .

$a = V W$ , dimana  $V = W R$

$$\text{maka : } a_R = W^2 R$$

$a_R =$  percepatan radial

$W =$  kecepatan sudut

$R =$  jari-jari lingkaran.

Dari sini kita dapat menyimpulkan mengenai percepatan radial, bahwa percepatan radial adalah cepatnya perubahan dari kecepatan yang disebabkan oleh perubahan arah kecepatan itu sendiri.

Sebuah benda yang bergerak akan bertambah cepat atau bertambah lambat apabila kecepatannya berubah-ubah. Demikian juga halnya dengan benda yang bergerak melingkar. Tetapi di sini selain percepatan radial ada juga percepatan sudut. Adapun yang kita maksudkan dengan percepatan sudut di sini ialah percepatan sudut rata-rata yaitu perbandingan perubahan kecepatan selisih waktu :

$$\alpha = \frac{W - W_0}{t - t_0} = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \text{radial/det}^2$$

Untuk selang waktu yang sangat pendek sekali, cepatnya perubahan sudut sesaat adalah :

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}, \quad \text{karena } W = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\text{Maka : } \alpha = \frac{d(d\theta)}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Dari rumus ini kita dapat menyimpulkan bahwa percepatan sudut adalah hasil bagi diferensial sudutnya.

### C. Hukum Gravitasi Newton

Pada pembahasan sebelumnya, kita telah katakan bahwa pengertian gravitasi dengan pengertian gaya berat adalah sama yaitu gaya tarik-menarik antara

suatu benda dengan benda lain. Tetapi pada gaya berat adalah terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara bumi dengan benda tersebut dan arahnya senantiasa menuju ke pusat bumi. Sedangkan gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara suatu partikel dengan partikel lain dan arahnya tidak selalu menuju ke pusat bumi.

Untuk menguatkan pengertian di atas marilah kita lihat pada hukum di bawah ini yang didapatkan oleh Sir Isaac Newton yang sering disebut hukum Gravitasi Newton adalah sebagai berikut : "Tiap-tiap partikel materi dalam alam semesta ini menarik tiap-tiap partikel lainnya dengan gaya yang berbanding langsung dengan hasil kali massa partikel itu dan berbanding terbalik dengan kwadrat jaraknya ".

Hukum ini secara umum dapat dituliskan dalam rumus :

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

rumus di atas dapat dinyatakan (diubah) menjadi persamaan dengan mengalikan rumus tersebut dengan konstanta gravitasi, sehingga akan penulis dapatkan :

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

dimana,  $F$  = gaya tarik antara dua partikel

$m_1$  dan  $m_2$  = massa dari masing-masing partikel

$r$  = jarak antara dua partikel tersebut.

Dimana harga  $G$  adalah sebuah konstanta universal yang mempunyai nilai yang sama untuk semua pasangan partikel.

Mula-mula gaya-gaya gravitasi di antara dua partikel adalah suatu pasangan aksi-reaksi. Partikel pertama mengarahkan sebuah gaya pada partikel kedua yang diarahkan menuju partikel pertama. Sepanjang garis yang menghubungkan kedua partikel tersebut. Demikian juga, partikel kedua mengerahkan sebuah gaya pada partikel pertama yang diarahkan menuju partikel kedua sepanjang garis yang menghubungkan kedua partikel tersebut, besarnya kedua gaya-gaya tersebut adalah sama tetapi arahnya berlawanan.

Hukum gravitasi Universal adalah sebuah hukum yang sangat sederhana, konstanta  $G$  harus dicari dari hasil eksperimen. Sekali  $G$  telah tertentu untuk sepasang benda, maka kita dapat menggunakan nilai tersebut di dalam hukum gravitasi untuk menentukan gaya-gaya gravitasi di antara sembarang pasangan benda yang lain.

Hukum Gravitasi universal Newton menyatakan gaya diantara partikel-partikel massa, jika kita ingin menentukan gaya di antara benda-benda yang diperbesar ukurannya, seperti misalnya bumi dan bulan, maka kita harus menganggap setiap benda sebagai yang diuraikan menjadi partikel-partikel, maka interaksi parti-

kel haruslah dihitung.

Yang termasuk di dalam hukum gravitasi universal Newton tersebut adalah pemikiran bahwa gaya gravitasi di antara dua buah partikel adalah tidak tergantung dari kehadiran benda-benda lain atau sifat-sifat ruang yang mengatasi partikel-partikel tersebut.

Dengan memakai rumus tersebut di atas, kita dapat menghitung gaya tarik antara dua partikel dimana kita harus mengetahui massa dari masing-masing partikel, jarak antara partikel-partikel tersebut dan juga konstanta gravitasinya. Untuk harga konstanta gravitasi ini yaitu berdasarkan eksperimen, harganya adalah :

$$G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ dyne-cm}^2/\text{gr}^2$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Newton-m}^2/\text{kg}^2$$

Karena berat benda adalah merupakan gaya gravitasi bumi, maka percepatan gravitasi ( $g$ ) dapat kita hitung.

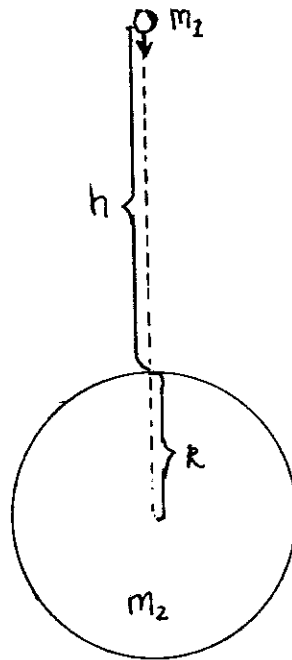
### 1. Percepatan Gravitasi

Percepatan gravitasi pada suatu tempat di atas permukaan bumi pada ketinggian  $h$  dari permukaan laut dapat kita hitung.

Lihat gambar : 2-7



Gambar : 2-7



$r$  = jarak benda ke pusat bumi.

Misalkan jari-jari bumi =  $R$

Jarak benda ke permukaan laut =  $h$

massa benda =  $m_1$

massa bumi =  $m_2$

Maka berat benda  $W = m \cdot g$  adalah sama dengan besarnya gaya tarikan bumi pada benda itu di tempat tersebut.

$$W = m \cdot g$$

$$m \cdot g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \text{ dimana } r = R + h$$

$$m \cdot g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{(R + h)^2}$$

$$g = G \cdot \frac{m_2}{(R+h)^2}$$

$$g = G \cdot \frac{m_2}{r^2}$$

Karena  $G$  dan  $m_2$  adalah konstan, maka harga tergantung pada  $r$  saja. Kalau  $r$  bertambah besar maka  $g$  semakin kecil, dan kalau  $r$  menjadi kecil maka percepatan gravitasi akan besar.

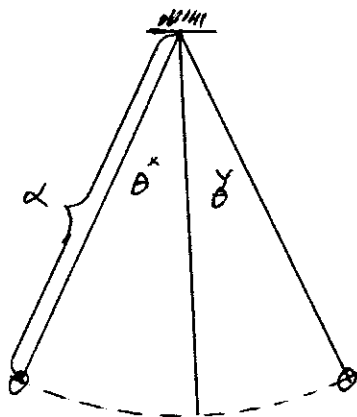
Bila percepatan gravitasi di atas permukaan laut adalah  $g_0$ , maka :

$$g_0 = G \frac{m_2}{r^2}$$

Jadi harga  $g$  pada tempat yang diminta  $g = g_0 \left( \frac{R}{R+h} \right)^2$

Percepatan gravitasi pada suatu tempat juga ditentukan dengan pendulum atau bandul fisi, bandul matematis, alat atwood dan lain-lain.

Gambar : 2-8



Sebuah bola kecil yang digantungkan dengan seutas benang yang panjangnya  $l$ , diayun dengan sudut bukaan yang kecil, maka perioda ayunan diamati dengan teliti dengan mempergunakan stopwatch, misalnya  $T$ , maka harga  $g$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$g = \frac{4^2 l}{T^2}$$

Dimana :  $g$  = percepatan gravitas ( $ms^{-2}$ )

$$= 3,14$$

$l$  = panjang benang pengantung bola kecil (m)

= Jarak pusat bola kecil ke titik penggantung bola kecil (m)

$T$  = Perioda ayunan (s)

## 2. Variasi harga $g$

Harga  $g$  di berbagai tempat di atas muka bumi (di sekitar bumi) tidaklah sama akan tetapi berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena jarak benda (yang mendapat  $g$ ) ke pusat bumi tidaklah sama dan juga dipengaruhi oleh density bahan-bahan mineral yang terkandung dalam perut bumi.

Harga  $g$  itu telah ditentukan oleh para ahli Fisika dengan teliti dengan bermacam-macam metoda, maka hasilnya adalah sebagai berikut :

TABEL I. VARIASI HARGA  $g$  DI ATAS MUKA BUMI

Di atas muka laut		Pada lintang $40^{\circ}$	
Lintang	$g$ ( $\text{ms}^{-2}$ )	Ketinggian (m)	$g$ ( $\text{ms}^{-2}$ )
$0^{\circ}$	9,780 39	0	9,801 71
$10^{\circ}$	9,781 95	500	9,800 17
$20^{\circ}$	9,796 41	1000	9,798 64
$30^{\circ}$	9,793 29	2000	9,795 64
$40^{\circ}$	9,801 71	4000	9,789 37
$50^{\circ}$	9,810 71	8000	9,777 02
$60^{\circ}$	9,819 18	16000	9,752 33
$70^{\circ}$	9,826 08	32000	9,702 96
$80^{\circ}$	9,830 59		
$90^{\circ}$	9,832 17		

### 3. Density Bumi

Density adalah perbandingan antara massa dengan volume,  $\rho = m/v$ .

Jika  $m$  dalam kg dan  $V$  dalam  $\text{m}^3$  maka density  $\text{kg}/\text{m}^3$

Jika  $m$  dalam gm dan  $v$  dalam cc maka density  $\text{gm}/\text{cc}$

$1 \text{ gm}/\text{cc} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Kita dapat mengukur density bumi ini secara rata-rata sbb; Dengan menggunakan alat yang teliti orang telah dapat menentukan besarnya gaya tarikan antara 1 gm benda dengan bumi yaitu kira-kira 980 dyne.

Jarak pusat bumi ke benda tadi adalah  $= 6,38 \cdot 10^6 \text{ m}$ .

Dengan rumus gaya tarik dapat dihitung  $m_E$  dan density bumi.

$$F = 980 \text{ dyne} = 0,0098 \text{ N}$$

$$0,0098 \text{ N} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \cdot 0,001 \text{ kg} \cdot m_E}{(6,38 \times 10^6 \text{ m})^2}$$

$$m_E = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bumi} &= \frac{4\pi R^3}{3} \\ &= \frac{4}{3} (3,14) (6,38 \times 10^6 \text{ m})^3 \\ &= 1,09 \times 10^{21} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

maka density bumi :

$$\begin{aligned} &= \frac{m_E}{V} = \frac{5,98 \times 10^{24} \text{ kg}}{1,09 \times 10^{21} \text{ m}^3} = 5,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ &= 5,5 \text{ gm/cc} \end{aligned}$$

Hubungan percepatan dengan density bumi ( density bahan mineral di dalam perut bumi), adalah sbb :

$$m_E = V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \text{---> substitusikan ke persamaan di atas :}$$

$$g = G \cdot \frac{4/3 \pi R^3}{(R + h)^2}$$

Jadi  $g$  adalah berbanding lurus dengan density dan berbanding terbalik dengan kwadrat jarak  $(R + h)$ .

## BAB III

### GERAKAN BENDA DI DALAM MEDAN GRAVITASI

#### A. Gerakan Benda yang Dekat Pada Bumi

Dalam pembahasan tentang gerakan benda yang dekat pada bumi, penulis banyak memusatkan penganalisisan tentang gerakan-gerakan benda yang lintasannya berbentuk parabola dan lingkaran.

##### 1. Gerak Parabola

Sebagaimana telah diuraikan pada bab II, bahwa gerak parabola adalah gerakan benda yang lintasannya berbentuk parabola; dan ini terjadi apabila sebuah benda pada suatu saat dipengaruhi oleh gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan.

Pada gerak lurus beraturan benda bergerak mengikuti arah yang ditentukan oleh vektor kecepatan awal ( $v_0$ ) yaitu arah yang membentuk sudut  $\theta$  (sebarang) terhadap garis horizon. Benda tersebut akan tetap bergerak lurus dengan arah vektor  $v_0$ , jika tidak ada gaya lain yang bekerja terhadap benda tersebut sesuai dengan hukum Newton II. Tetapi, apa yang akan terjadi kalau benda yang bergerak tersebut berada dalam medan gravitasi bumi ?

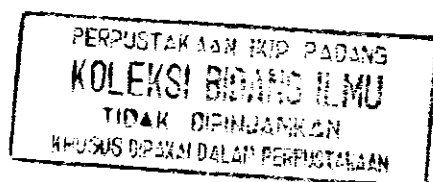
Pada bab II telah dibahas bahwa gaya tarik antara dua partikel (gravitasi) adalah :

Walaupun kedua benda itu, yang satu jatuh bebas dan yang satu lagi kita tembakkan mendatar dengan kecepatan awal  $V_0$ , tetapi kita dapat melihat bahwa dalam setiap selang waktu, jarak yang ditempuh oleh benda pertama dan kedua ternyata pada arah vertikal adalah sama, juga pada bola kedua ternyata bahwa jarak yang ditempuh bola tersebut dalam arah mendatar untuk setiap selang waktu adalah sama panjang. Dengan demikian dapatlah kita katakan bahwa gerakan benda pertama dan kedua itu adalah sama-sama dipengaruhi oleh suatu gaya, yaitu gaya gravitasi.

Dalam bab II, telah kita jelaskan bahwa berdasarkan arah kecepatan awalnya, gerak parabola dapat dibagi dua, yaitu dengan sudut elevasi sama dengan nol dan sudut elevasi tidak sama dengan nol.

Berikut kita tinjau lagi mengenai gerakan parabola dengan sudut elevasi sama dengan nol.

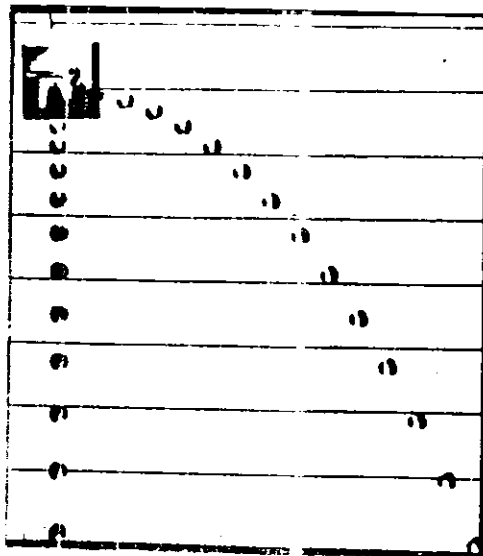
Untuk lebih jelasnya agar kita dapat melihat perubahan gerakan parabola yang sudut elevasinya sama dengan nol dengan kecepatan awalnya berubah-ubah, marilah kita perhatikan contoh berikut ini.



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

Jelaslah bahwa suatu benda yang diberi kecepatan awal, maka dia akan bergerak lurus dengan arah vektor kecepatan awalnya kalau tidak ada gaya luar yang mempengaruhinya, tetapi karena adanya percepatan gravitasi, maka benda tersebut akan bergerak melengkung dan akan membentuk lintasan parabola.

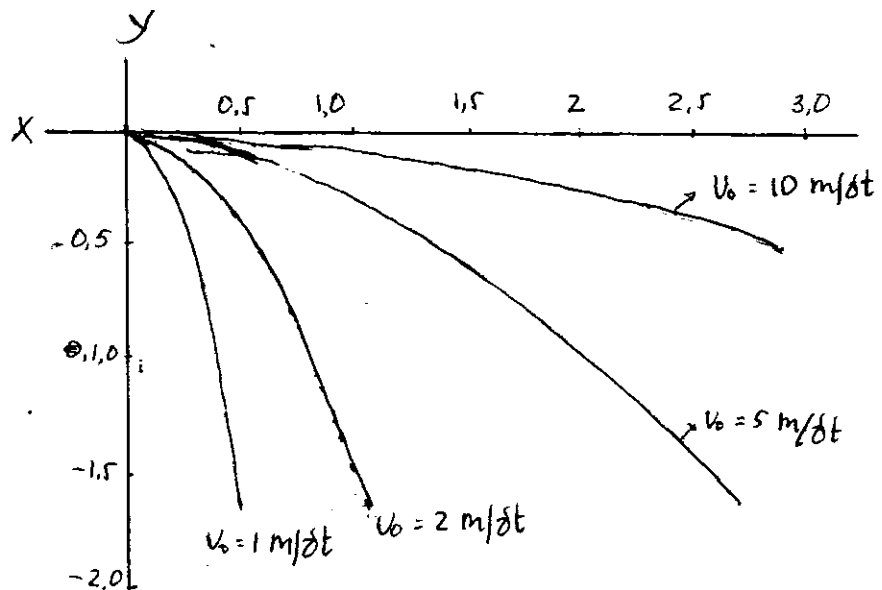
Untuk meninjau bahwa terdapat gaya gravitasi yang bekerja, maka dapat ditunjukkan dengan gambar 3-1 berikut ini.



gambar 3-1

Pada gambar 3-1. kita dapat melihat gerakan 2 buah bola. Kedua bola tersebut bersama-sama dilepaskan, yaitu yang satu dijatuhkan tanpa kecepatan awal dan yang satu lagi ditembakkan mendatar ke samping.





Tetapi, untuk merubah bentuk daripada parabola ini bukanlah hanya tergantung pada perubahan kecepatan awalnya saja, melainkan dapat juga dengan merubah sudut elevasinya. Jadi kelengkungan bentuk parabola dapat dirobah dengan dua cara, yaitu dengan jalan merubah besarnya kecepatan awal dan dengan merubah sudut elevasinya. Untuk lebih jelasnya marilah kita lihat gambar 3-3 pada halaman 38 berikut.

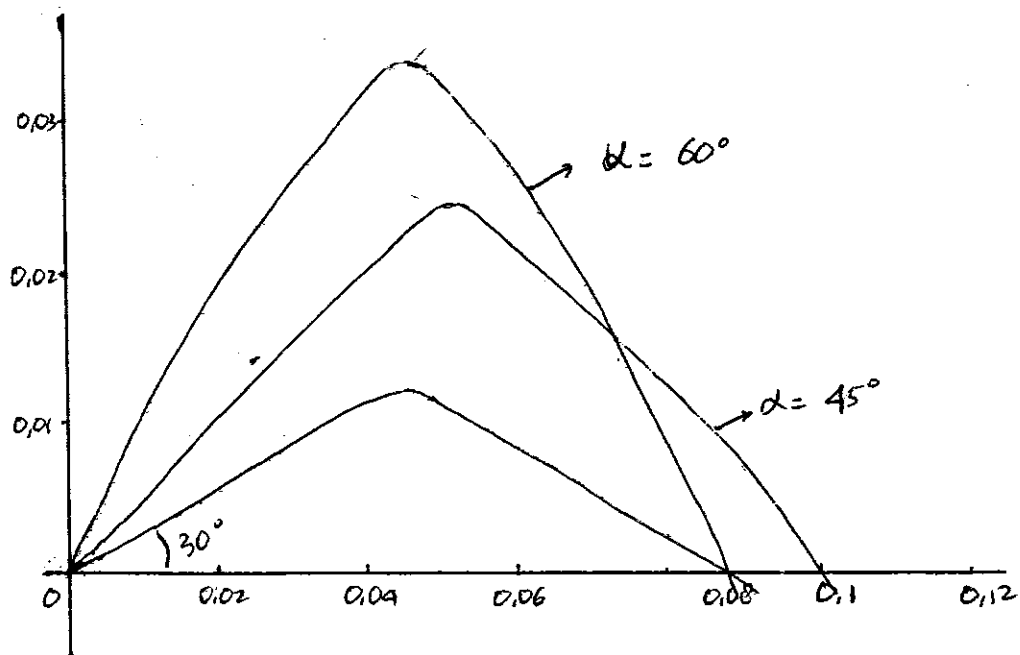
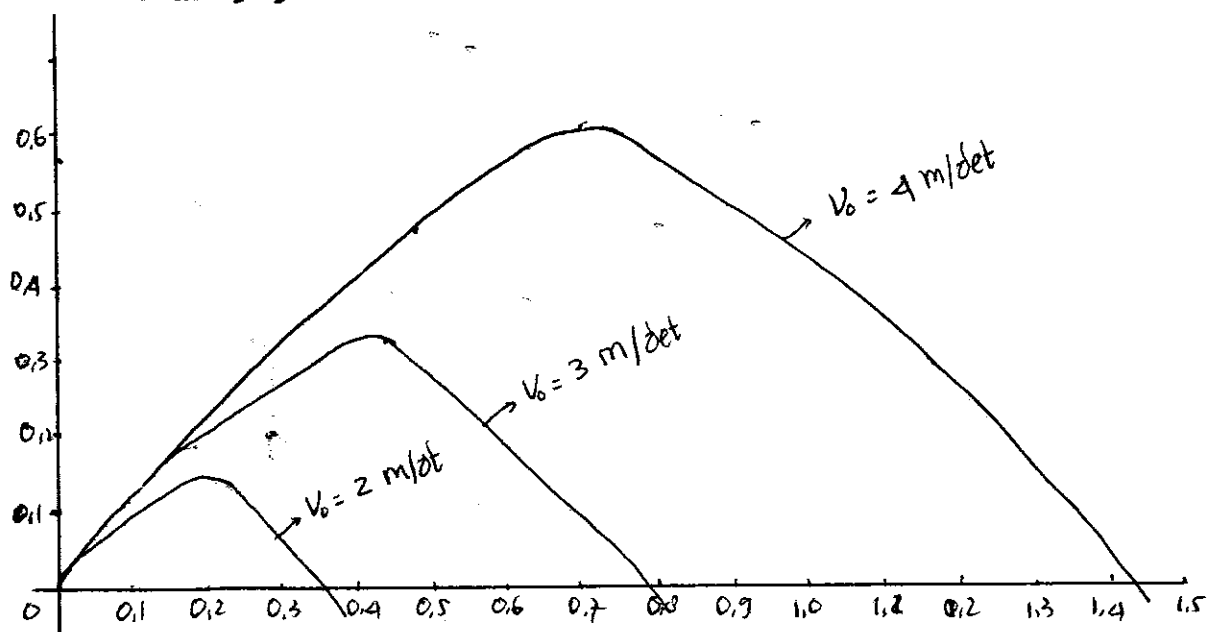
Gambar a0. menunjukkan hubungan di antara perubahan kecepatan awal dan perubahan bentuk parabola dengan sudut elevasinya tetap.

Dinisalkan :

$$= 60^{\circ}, v_0 = 2 \text{ m/det} ; 4 \text{ m/det} ; 3 \text{ m/det}$$

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

Gambar 3-3



$$Y_{\max} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$V_0 = 2 \text{ m/det} : X_{\max} = 0,35 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0,15 \text{ m}$$

$$V_0 = 3 \text{ m/det} : X_{\max} = 0,78 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0,34 \text{ m}$$

$$V_0 = 4 \text{ m/det} : X_{\max} = 1,39 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0,60 \text{ m}$$

Gambar b). menunjukkan hubungan antara perubahan sudut elevasi dan perubahan bentuk parabola dengan kecepatan awal tetap.

Dinisalkan :

$$V_0 = 1 \text{ m/det}$$

$$\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ : X_{\max} = 0,087 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0,013 \text{ m}$$

$$\alpha = 45^\circ : X_{\max} = 0,1 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0,025 \text{ m}$$

$$\alpha = 60^\circ : X_{\max} = 0,087 \text{ m}$$

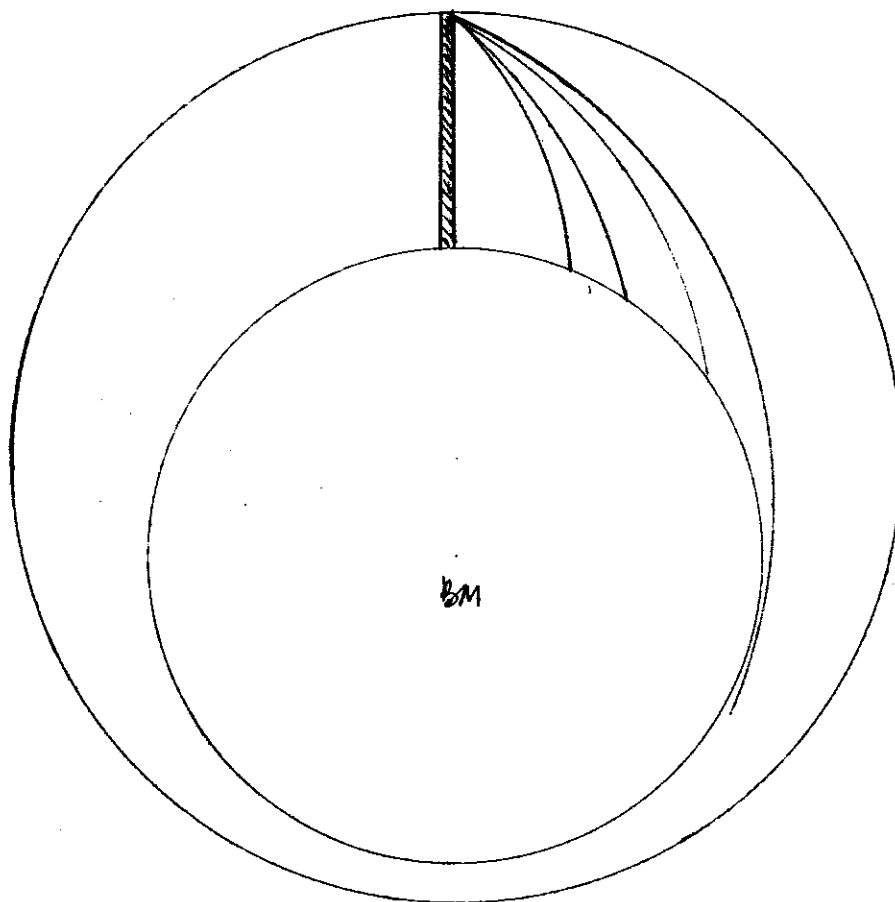
$$Y_{\max} = 0,038 \text{ m}$$

## 2. Gerak Melingkar

Dalam gerak parabola, kita telah mengetahui bahwa gerak parabola terjadi karena adanya gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan.

Kalau gerakanya terjadi di bumi, arah dari gerak lurus berubah beraturan adalah vertikal ke bawah. Gerakan vertikal ke bawah ini disebabkan oleh adanya percepatan, dan percepatan ini kita sebut percepatan gravitasi bumi.

Apa yang terjadi kalau sebuah benda ditembakkan dari ketinggian tertentu di atas permukaan bumi ? Perhatikan gambar 3-4 berikut ini.



gambar 3-4

Pada gambar 4-3, kita dapat melihat bahwa suatu benda ditembakkan mendatar dari suatu ketinggian tertentu, dengan kecepatan awal yang berbeda-beda, dan pada suatu kecepatan awal tertentu benda itu tidak lagi jatuh pada permukaan bumi, melainkan sudah dapat mempunyai orbit yang mengelilingi bumi. Dari hal ini ternyata, bahwa gerak melingkar ada hubungannya dengan gerak parabola. Gerak melingkar ini terjadi karena terbentuknya keseimbangan diantara gaya tarik bumi dan gaya sentrifugal.

Untuk mempermudah penganalisaan, kita mengambil sebagai contoh: sebuah benda yang diikat dengan tali sedangkan salah satu ujungnya dipegang. Dengan cara memberi kecepatan awal yang tegak lurus pada tali dalam keadaan merentang, benda akan dapat bergerak melingkar. Benda akan tetap bergerak melingkar karena adanya tali yang menarik ke dalam; dan gaya ini adalah gaya sentripetal dan pada saat yang sama bekerja pula gaya yang sama tetapi berlawanan arah. Gaya keluar ini disebut gaya sentrifugal.

Suatu contoh gerak melingkar yang telah diketahui secara umum, adalah gerakan bulan mengelilingi bumi. Bahkan sekarang banyak satelit buatan yang diluncurkan sedepikian rupa, sehingga bergerak melingkar mengelilingi bumi. Secara garis besar <sup>gerak-</sup> cara yang an satelit ini dapat diterangkan

sama seperti gerak melingkar pada umumnya. Percepatan gravitasi bumi adalah sama dengan percepatan radial pada gerak melingkar pada percobaan di atas (benda yang diikat pada tali) dan yang menyebabkan benda dapat bergerak melingkar tadi adalah karena adanya gaya sentripetal, dalam hal ini yang menyebabkan terjadinya gaya sentripetal adalah gaya gravitasi bumi.

#### B. Gerak Benda yang Jauh dari Bumi

Di atas telah dijelaskan bahwa suatu benda akan dapat bergerak melengkung (gerak melingkar atau gerak parabola), karena adanya gravitasi. Demikian pula dalam pembahasan ini, bahwa gerakan benda yang jauh dari bumi, juga masih dipengaruhi oleh gravitasi. Gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda sebanding dengan massanya; dan gaya tarik-menarik antara massa  $m_1$  dan massa  $m_2$  dapat dinyatakan dengan rumus :

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

Percepatan yang diakibatkan oleh gaya berat, yaitu percepatan gravitasi "g", besarnya berubah-ubah sesuai dengan jarak dari pusat bumi. Dengan demikian, karena massa adalah konstan, dan massa benda selalu konstan dimanapun dia berada, tetapi gaya tarik benda (gaya gravitasi) tergantung pada jaraknya dari

pusat bumi.

Untuk mengimbangi gaya gravitasi bumi ini, dapat dicapai, terutama dengan kecepatan mengitari bumi yang cukup tinggi, sehingga gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh kecepatan itu dapat mengimbangi gaya gravitasi bumi. Maka dalam proses mengimbangi percepatan gravitasi ( $g$ ) dengan percepatan sentrifugal atau percepatan radial ( $v^2/R$ ) itu, kita selalu memperhitungkan faktor jarak antara tempat atau posisi yang bersangkutan dengan titik pusat bumi. Dan di sini dapat kita hitung dengan rumus :

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

Dimana  $F$  = gaya gravitasi

$m_1$  = massa benda yang merasakan gaya  $F$

$m_2$  = massa bumi

$r^2$  = jarak antara titik pusat bumi dengan titik pusat benda yang mempunyai massa  $m$  tersebut.

$$F = mg \text{ dan } mg = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \text{ jadi } g = G \cdot \frac{m_2}{r^2}$$

Harga-harga  $G$  dan  $m_2$  merupakan konstan-konstan, sehingga pertautan di antara harga-harga dari  $g$  dan  $R$  itu terlihat sebagai berikut :  $gR^2$  sama dengan konstan. Rumus ini mempermudah kita untuk menghitung

harga-harga daripada  $g$  (percepatan gravitasi) pada garis-garis edar atau orbit-orbitnya, yang berbedabeda.

Untuk mudahnya, kita ambil contoh pada garis edar (orbit) yang tingginya 6.400 km dari permukaan bumi. Karena jari-jari bumi kita bulatkan menjadi 6.400 km, maka disini  $R_1 = (6.400 + 6.400) \text{ km} = 12.800 \text{ Km}$ .

Pada permukaan bumi, kita ambil  $g_0$  dan  $R_0$  yang harga-harganya adalah konstan dan telah diketahui, ialah  $g_0$  dan  $R_0$ . Ini dapat kita pergunakan perbandingan dalam mencari harga-harga  $g$  pada ketinggian-ketinggian tertentu.

Untuk ketinggian 6.400 km dari permukaan bumi itu, kita pergunakan  $g_1$  dan  $R_1$ , maka dengan demikian:

$$g_0 R_0^2 = g_1 R_1^2 \quad \text{-----} \quad g_1 = \frac{g_0 \cdot R_0^2}{R_1^2}$$

$$g_1 = \frac{9.8 (6.400 \times 10^3)^2}{(128 \times 10^3)^2}$$

$$g_1 = \frac{9.8 (6.4)^2 \times 10^{10}}{(128)^2 \times 10^{10}}$$

$$g_1 = \frac{40140.8}{16384} = 2,45 \text{ m/det}^2$$

Di sini, kita telah mengetahui harga percepatan gravitasi suatu orbit pada ketinggian 6.400 km dari



permukaan bumi, dan dengan gaya yang sama kita dapat menghitung harga-harga dari percepatan gravitasi ( $g$ ) untuk sembarang ketinggian orbit.

Kita telah mengetahui bahwa suatu benda dapat berada dalam suatu orbit bumi atau berada dalam suatu garis edar sekita bumi, apabila gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh kecepatan orbit benda itu dapat mengimbangi atau menyamai besarnya gaya gravitasi bumi yang mengikatnya pada bumi. Hal ini, dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$F = m g \quad \text{dan} \quad F = m \frac{v^2}{R} \quad \text{maka :}$$

$$m g = m \frac{v^2}{R} \quad \text{-----} \quad g = \frac{v^2}{R}$$

Karena keseimbangan antara percepatan gravitasi dengan percepatan sentrifugal pada suatu orbit dapat dihitung dengan rumus  $g = v^2/R$ , dimana  $g$  = percepatan gravitasi pada ketinggian tertentu dan  $R$  = jarak dari pusat bumi sampai ke ketinggian tersebut, maka harga dari  $g$  ini dapat dihitung dengan membandingkan harga-harga  $g$  dan  $R$  pada permukaan bumi, yaitu dengan rumus :

$$g_1 = \frac{g_0 R_0^2}{R_1^2}$$

Untuk menghitung kecepatan-kecepatan yang diperlukan agar dapat memasuki dan tetap berada pada ga-

ris-garis edar atau orbit-orbit pada ketinggian tertentu, dapat kita lakukan dengan menggunakan rumus:

$$g_1 = \frac{g_0 R_0^2}{R_1^2} \text{ disubstitusikan dengan rumus } g = \frac{v^2}{R}$$

dimana  $g = g_1$  adalah percepatan gravitasi pada suatu orbit dan  $R = R_1$  adalah jarak dari pusat bumi sampai dengan tinggi orbit, maka :

$$\frac{v^2}{R_1} = \frac{g_0 R_0^2}{R_1^2} \quad \text{-----} \quad v^2 = \frac{g_0 R_0^2}{R_1}$$

$$\text{Jadi } v = \frac{g_0 R_0^2}{R_1}$$

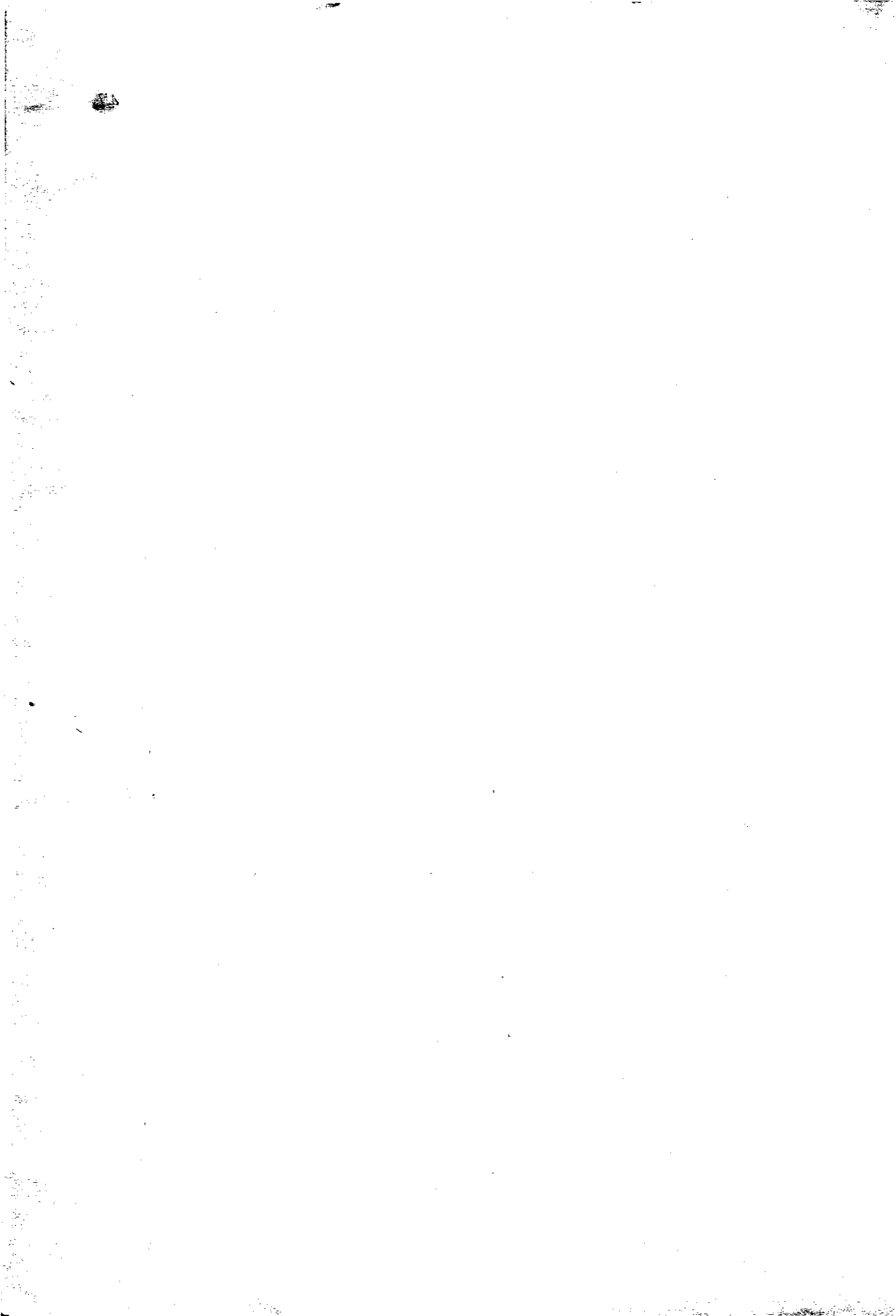
Kalau kita ambil contoh untuk menghitung harga  $V$  pada ketinggian 6.400 km dari permukaan bumi, berarti :

$$R_1 = ( 6.400 + 6.400 ) \text{ km} = 12.800 \text{ km}$$

$$\text{maka: } v = \frac{g_0 R_0^2}{R_1} = \frac{(64 \times 10^5)^2 \times 9.8}{128 \times 10^5} = 5.600 \text{ m/dt}$$

$$v = 5,6 \text{ Km/det.}$$

Di sini, kita sudah dapat menghitung kecepatan pada ketinggian orbit 6.400 km dari permukaan bumi, dan dengan cara yang sama kita dapat menghitung kecepatan-kecepatan pada ketinggian tertentu pada



permukaan bumi.

Untuk ketinggian orbit 6.400 km dari permukaan bumi kita telah hitung besarnya percepatan gravitasi  $g = 2,45 \text{ m/det}$ , dan kecepatan pada garis edar tersebut adalah  $V = 5,6 \text{ km/det}$ .

Karena tadi telah kita ketahui bahwa benda dapat bergerak melingkar apabila gaya sentrifugalnya sama dengan gaya sentripetalnya, dimana gaya sentripetal disini adalah gaya gravitasi, maka sekarang kita dapat menghitung dan membandingkan besarnya gaya gravitasi dengan gaya sentrifugal untuk orbit pada ketinggian tersebut di atas, yaitu :

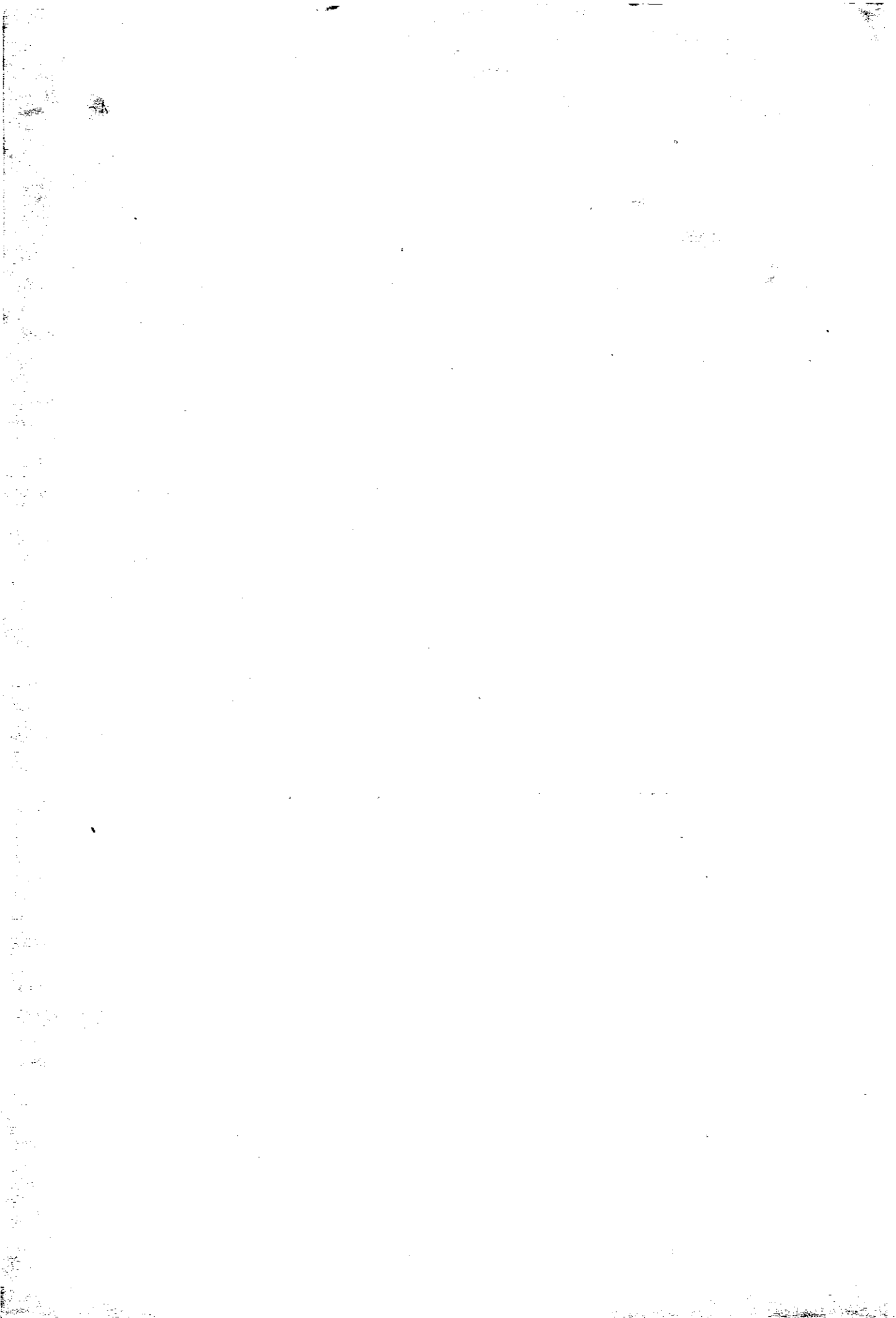
$$\text{Gaya Gravitasi } F = G \frac{m \cdot M}{R^2} \quad \text{sedangkan } g = \frac{G M}{R^2}$$

$F = m g$  —————  $F = m \times 2,45 = 2,45 \times m \text{ Newton}$   
dimana  $m$  adalah massa benda yang merasakan gaya tersebut.

$$\text{Gaya Sentrifugal } F = m \frac{v^2}{R} = \frac{(56)^2 \times 10^4}{128 \times 10^5} \times m$$

$$F = \frac{3136}{1280} \times m = 2,45 \times m \text{ Newton,}$$

dimana  $m$  juga adalah massa benda yang merasakan gaya  $F$  itu. Di sini, ternyata bahwa gaya gravitasi adalah sama dengan gaya sentrifugal, dan keseimbangan ini tidak dipengaruhi oleh massa benda ini.



Dengan memperhatikan uraian-uraian di atas, kita dapat menarik kesimpulan bahwa terjadinya benda bergerak melingkar dekat permukaan bumi sama dengan benda bergerak melingkar jauh dari permukaan bumi, yaitu kalau pada dekat permukaan bumi terjadi gerak melingkar jika gaya sentripetal sama dengan gaya sentrifugal.

Sedangkan pada benda yang jauh dari permukaan bumi terjadinya gerak melingkar adalah apabila gaya gravitasi sama dengan gaya sentrifugal, dimana gaya sentripetal disini tidak lain daripada gaya gravitasi bumi, sedangkan gaya sentripetal terjadi karena benda itu diberi kecepatan yang cukup besar.

Di atas, kita telah menghitung harga-harga  $V$  (kecepatan) dan  $F$  (gaya) dari suatu benda agar dapat bergerak melingkar (mengorbit) di sekeliling bumi kita ini pada jarak tertentu dari pusat bumi.

Kalau kepada benda itu diberikan lagi energi yang lebih besar, maka benda itu akan pindah orbit dengan menempuh jarak ( $R$ ) tertentu dari pusat bumi. Dengan mempergunakan rumus-rumus di atas, kita dapat menghitung kecepatan ( $V$ ) dan gaya ( $F$ ) pada benda yang mempunyai jarak  $R$  dari bumi. Dalam hal ini, adanya gaya gravitasi dari benda angkasa lainnya diabaikan, dan penulis banyak memperhitungkan pengaruh gravitasi bumi saja.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Buku Pelajaran Fisika untuk SMA, Energi, Gelombang dan Medan, Jilid II, Departemen P dan K - PN. Balai Pustaka, Jakarta, 1977.
2. Soetrisno, Seri Fisika, Fisika Dasar, Mekanika, ITB, 1981.
3. Allonso Marcello, University Physics, Addison Wesley Publishing Company, Menlo Park, 1968.
4. Francis Weston Sears, Mekanika Panas dan Bunyi
5. Halliday & Resnick Pantur Silaban, Fisika, Jilid II Edisi ketiga, ITB, 1985.