

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 UPT 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

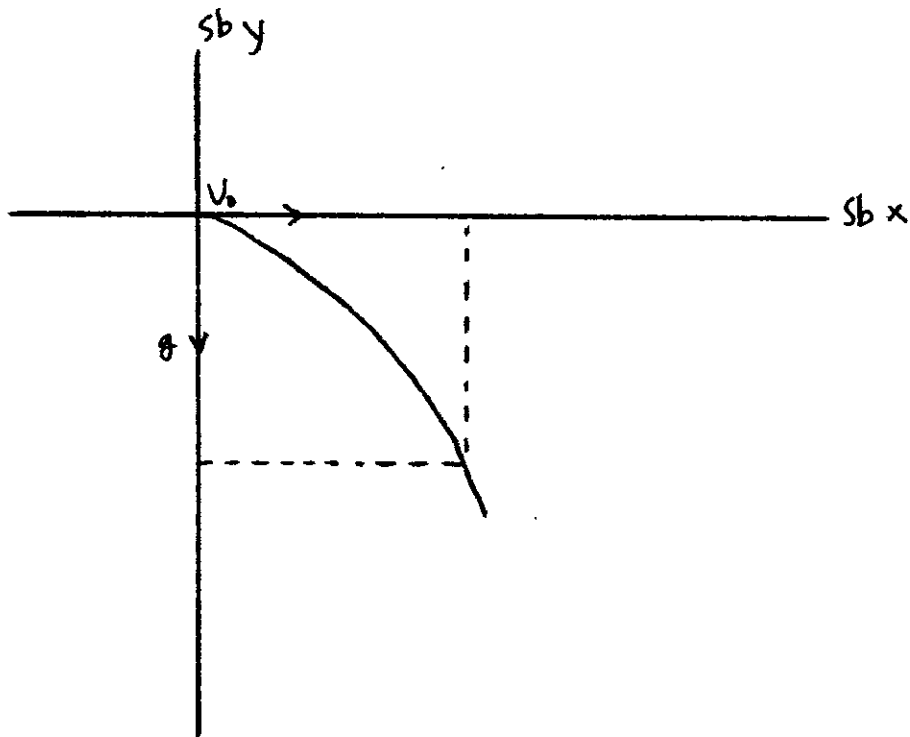
awal (V_0), tetapi karena adanya percepatan gravitasi yang arahnya vertikal ke bawah, maka benda tersebut juga dipengaruhi oleh gerak lurus berubah beraturan. Akhirnya benda ini bergerak dengan lintasan berbentuk parabola. Hal ini terjadi pada semua benda yang dilontarkan dengan kecepatan awal tertentu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

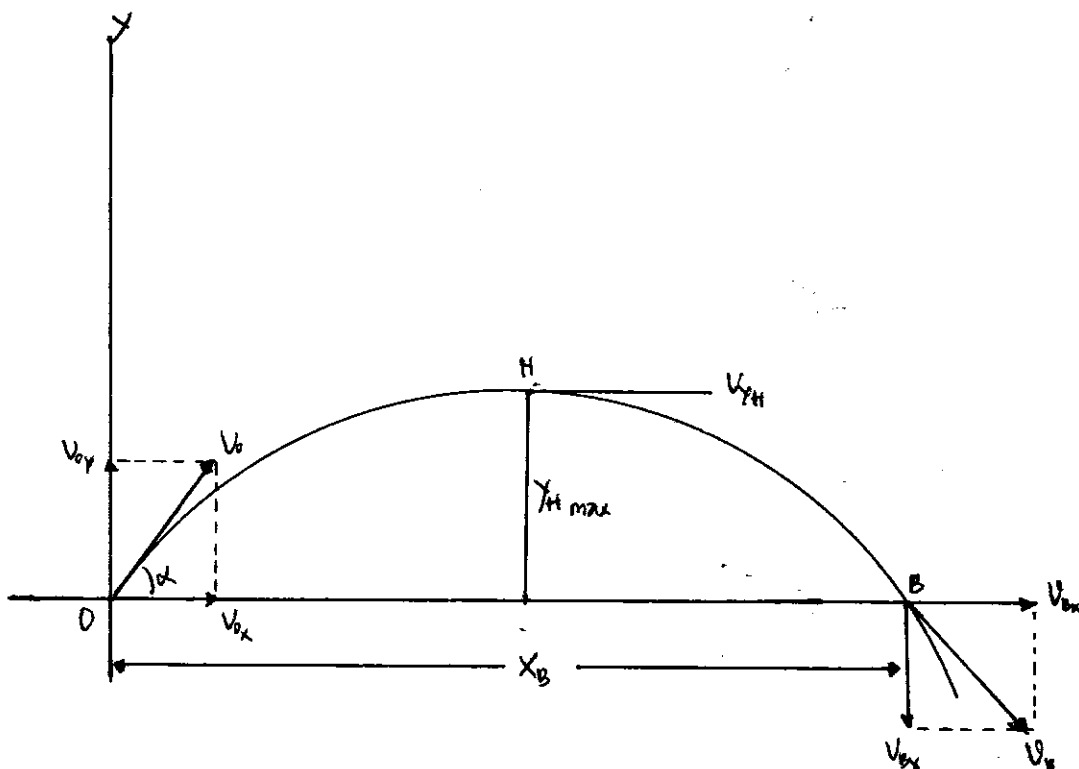
Gambar 2-1



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 α 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 α = 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 $V_{yH} = 0$

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

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

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

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

t_H = waktu untuk mencapai tinggi maksimum.

Perpindahan vertikal :

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

Jadi tinggi maksimum yang dicapai :

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

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 0 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

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

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

$$\sin 2 \alpha = 1$$

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

$$\alpha = 45^\circ$$

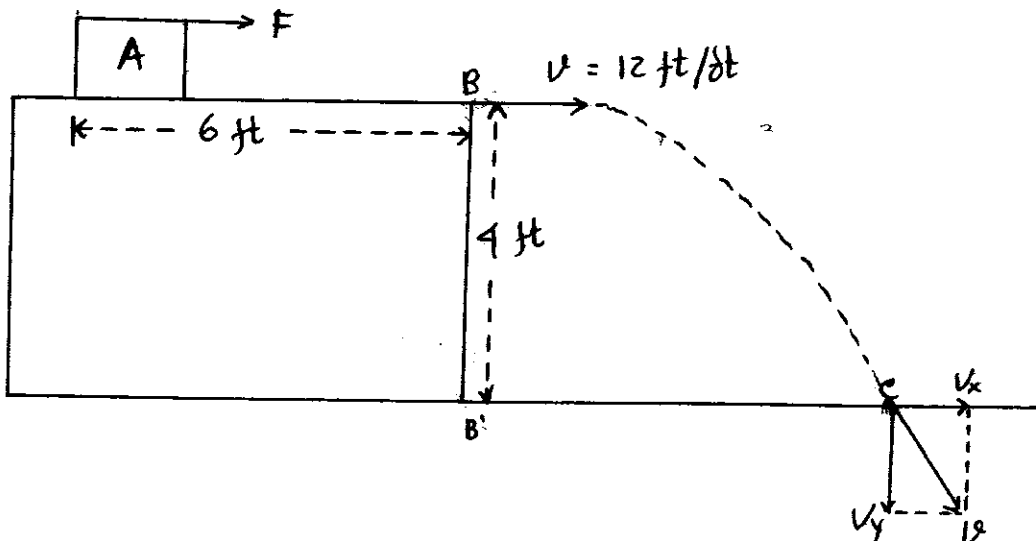
Maka syarat mencapai lemparan terjauh = 45°

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 (ω)
5. Lintasan linier (S)
6. Lintasan sudut (θ)

Selain hal-hal tersebut di atas, kita juga mengenal hubungan $\theta = S/R$ atau $S = R \theta$, dimana θ 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 :

$$S = V t$$

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

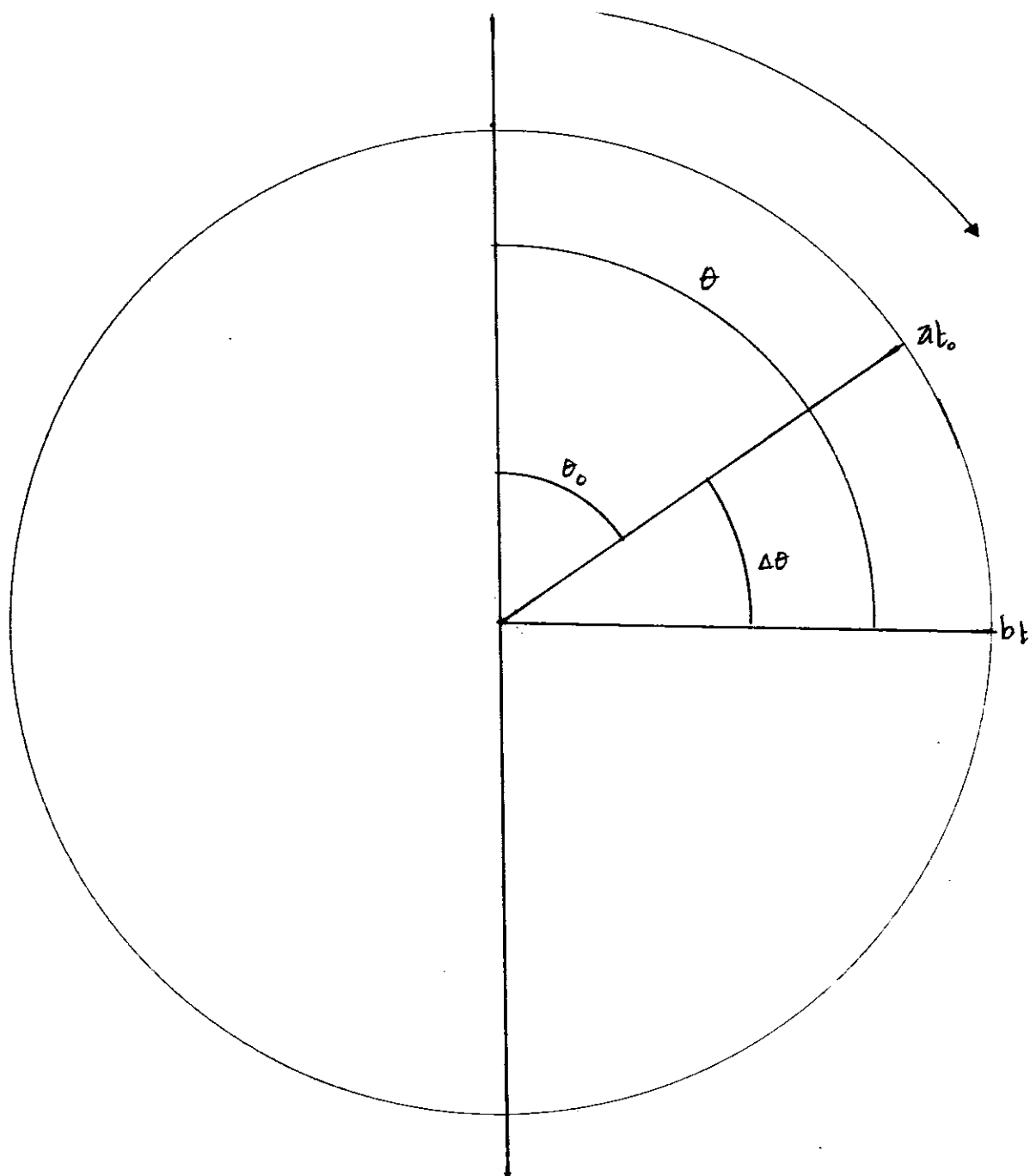
Dimana V adalah kecepatan

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 θ_0 dan sesaat kemudian atau pada saat t adalah θ 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 ω (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 ω 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 2π 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

ω = 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 θ_0 sama dengan nol, maka $\theta = Wt$.

2. Percepatan

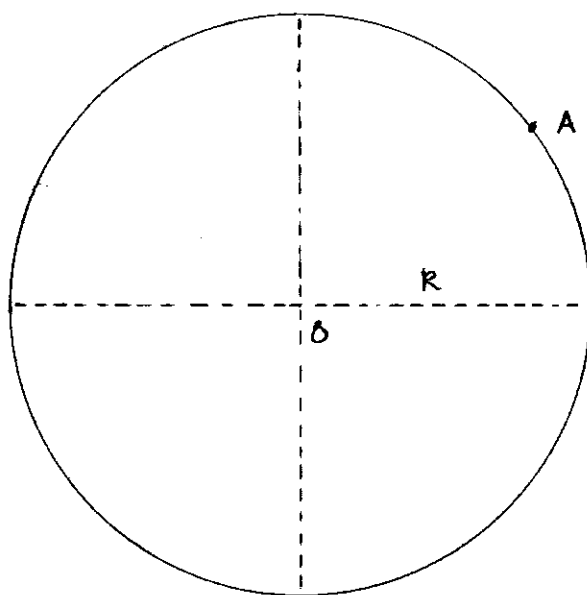
Percepatan adalah cepatnya rata-rata perubahan kecepatan.

Sebagai contoh, misalkan sebuah benda yang berada dalam keadaan diam mendapat gerak dipercepat beraturan dengan percepatan a cm/det² 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 (ω) 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 (ω) dari suatu titik berubah maka titik tersebut mempunyai percepatan anguler :

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

Dimana ω = kecepatan anguler sekarang

ω_0 = kecepatan anguler muka-mula

a_r = percepatan anguler

t = waktu

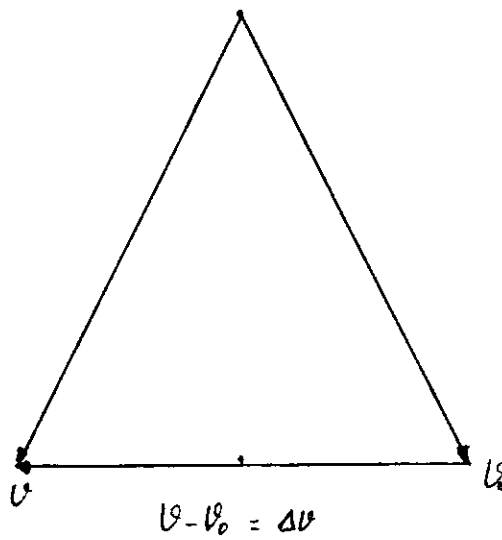
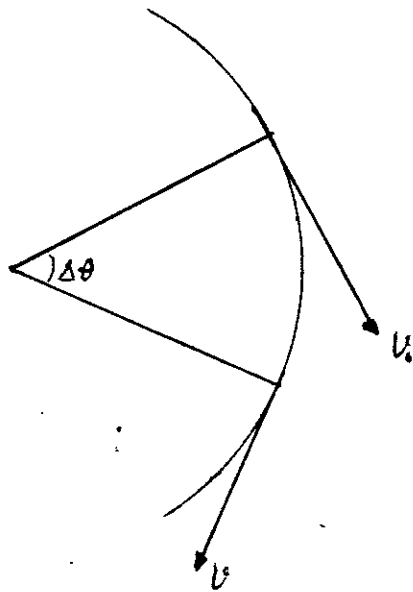
Setelah mendapat penjelasan bahwa gerak melingkar beraturan kelajuan adalah tetap, sedangkan kecepatan berubah-ubah. Kalau kecepatan berubah-ubah berarti bahwa di sini terdapat percepatan; dan dapat dalam rumus sebagai berikut :

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

Δv = perubahan kecepatan

Δt = 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 Δt .

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

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 ΔV 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.

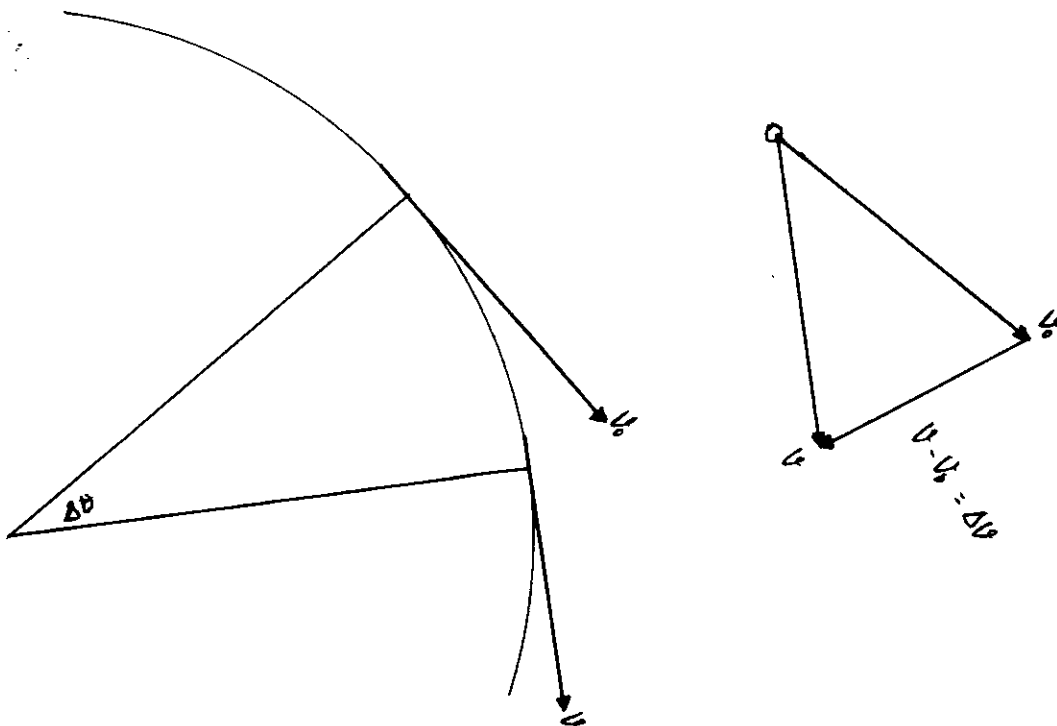
Maka pada benda yang bergerak melingkar, percepatan rata-rata adalah selisih vektor kecepatan dibagi dengan selang waktu, yaitu :

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

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 Δt , maka akan kita dapatkan :

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

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

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 ΔV mendekati sudut siku-siku, dimana dalam limit vektor ΔV (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 :

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

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

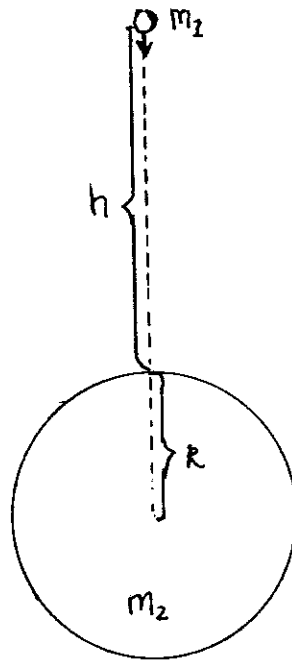
Karena berat benda adalah merupakan gaya gravitasi bumi, maka percepatan gravitasi (g) dapat kita hitung.

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.

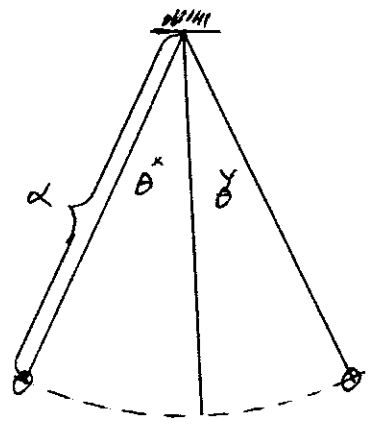
Bila percepatan gravitasi di atas permukaan laut adalah g_0 , maka :

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

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

3. Density Bumi

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

Jika m dalam kg dan V dalam m^3 maka density kg/m^3

Jika m dalam gm dan v dalam cc maka density gm/cc

$1 gm/cc = 1000 kg/m^3$.

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 $= 6,38 \cdot 10^6$ 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 $(R + h)$.