

BAB 3

DINAMIKA PARTIKEL

A. Tujuan Umum

Mahasiswa memahami konsep hukum gerak, hukum newton 1, 2, 3, serta menjelaskan tentang gaya dan gerak dan dapat menerapkan aplikasi hukum newton..

B. Tujuan Khusus

- Mahasiswa dapat menjelaskan maksud dari hukum-hukum gerak dan hukum newton 1, 2, 3.
- Mahasiswa dapat menerapkan hukum newton dalam menyelesaikan masalah gerak dan gaya..
- Mahasiswa dapat menjelaskan tentang macam-macam gaya beserta contohnya..
- Mahasiswa dapat menentukan besar gaya yg merupakan terapan dari hukum newton

3.1. HUKUM-HUKUM GERAK.

Apa yang membuat benda bergerak ?

□ **Aristoteles** (384-322 SM) :
gaya, tarik atau dorong, diperlukan untuk menjaga sesuatu bergerak.

□ **Galileo Galilei** (awal 1600-an) :
benda bergerak mempunyai "kuantitas gerak" secara intrinsik.

□ **Issac Newton** (1665 - 1666) :
Hukum Newton mengandung 3 konsep : *massa*, *gaya*, *momentum*
massa : mengukur kuantitas bahan dari suatu benda.
gaya : tarikan atau dorongan.
momentum : kuantitas gerak
"Kuantitas gerak" atau momentum diukur dari perkalian massa benda dengan kecepatannya :
$$p = m v$$

Hukum I : Benda yang bergerak cenderung untuk tetap bergerak, atau tetap diam jika diam.

Hukum II : Laju perubahan momentum suatu benda sama dengan gaya total yang bekerja pada benda tersebut.

$$F = dp/dt$$

bila massa m konstan,

$$F = d(mv)/dt$$

$$F = m dv/dt$$

karena $dv/dt = a$ (percepatan), maka

$$F = ma$$

Hukum III: Untuk setiap aksi selalu terdapat reaksi yang sama besar dan berlawanan.

3.2 Pentingnya hukum gerak Newton

Alam dan Hukum alam tersembunyi dalam malam;

Tuhan berkata, Biar Newton jadi! Dan semua menjadi terang.

— Alexander Pope

Hukum gerak Newton, bersama dengan hukum gravitasi universal dan teknik matematika kalkulus, memberikan untuk pertama kalinya sebuah kesatuan penjelasan kuantitatif untuk fenomena fisika yang luas seperti: gerak berputar benda, gerak benda dalam cairan; projektil; gerak dalam bidang miring; gerak pendulum; pasang-surut; orbit bulan dan planet. Hukum konservasi momentum, yang Newton kembangkan dari hukum kedua dan ketiganya, adalah hukum konservasi pertama yang ditemukan.

Hukum Newton dipastikan dalam eksperimen dan observasi selama 200 tahun.

3.2.1 Hukum I Newton : Hukum Inertia

Hukum ini juga disebut Hukum Inertia atau Prinsip Galileo.

Formulasi alternatif:

Setiap pusat massa benda tetap berada dalam keadaan istirahat, atau gerak seragam lurus ke kanan, kecuali dipaksa berubah dengan menerapkan gaya ke benda tersebut.

Sebuah pusat massa benda tetap diam, atau bergerak dalam garis lurus (dengan kecepatan, v , sama), kecuali diberi gaya luar.

Dalam notasi kalkulus, dapat dikemukakan dengan:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{v} = \mathbf{0}$$

Meskipun hukum Newton pertama merupakan kasus spesial dari hukum Newton kedua (lihat bawah), hukum pertama menjelaskan frame referensi di mana kedua hukum lainnya dapat dibuktikan benar. Frame referensi ini disebut referensi frame inertial atau Galilean referensi frame dan bergerak dengan kecepatan konstan, yaitu, tanpa percepatan.

Dalam formal tidak resmi, Aristoteles berpikir bahwa benda akan diam bila kalian biarkan diam, diam secara alami, dan gerakan membutuhkan suatu penyebab. Normal bila ia berpikir begitu, karena setiap gerakan (kecuali objek celestial) yang diamati oleh pengamat akan berhenti karena gesekan. Tetapi teori Galileo menyatakan bahwa "Benda bergerak secara alami dengan kecepatan tetap, bila dibiarkan sendiri."

Berjalan dari Aristoteles "Keadaan alami benda adalah diam" ke hukum pertama Newton adalah penemuan yang penting dan dalam fisika. Dalam kehidupan sehari-hari, gaya gesek biasanya menyebabkan benda bergerak menjadi pelan dan membawanya ke keadaan diam. Newton menjelaskan model matematika yang seseorang dapat menurunkan gerakan benda dari sebab dasar : gaya.

3.2.2. Kecepatan

Kecepatan (simbol: v) adalah pengukuran vektor dari besar dan arah gerakan. Nilai absolut skalar(magnitudo) dari kecepatan disebut kelajuan. Kecepatan dinyatakan dengan jarak yang ditempuh per satuan waktu.

Rumus kecepatan yang paling sederhana adalah "Kecepatan= Perpindahan/Waktu" atau $v = s/t$. Dengan demikian, satuan SI kecepatan adalah m/s dan merupakan sebuah besaran turunan. Beberapa satuan kecepatan lainnya adalah km/jam atau km/h mil/jam atau mph knot

Mach yang diambil dari kecepatan suara. Mach 1 adalah kecepatan suara.

Perubahan kecepatan tiap satuan waktu dikenal sebagai percepatan atau akselerasi.

3.2.2.1 Satuan kecepatan

c (konstanta kecepatan cahaya) | sentimeter per jam (cm/h) | sentimeter per menit (cm/m) | sentimeter per detik (cm/s) | kaki per jam (foot/h) | kaki per menit (foot/m) | kaki per detik (foot/s) | meter per jam (m/h) | meter per menit (m/m) | meter per detik (m/s) | kilometer per jam (km/h) | kilometer per menit (km/m) | kilometer per detik (km/s) | knot | mach (laut) | mach (SI) | mil per jam (mil/h) | mil per menit (mil/m) | mil per detik (mil/s) | yard per jam (yard/h) | yard per menit (yard/m) | yard per detik (yard/s)

3.2.2.2 Jarak

Jarak adalah angka yang menunjukkan seberapa jauh suatu benda dengan benda lainnya. Dalam fisika atau dalam pengertian sehari-hari, jarak dapat berupa jarak fisik, sebuah periode waktu, atau estimasi/perkiraan berdasarkan kriteria tertentu (misalnya jarak tempuh antara Jakarta-Bandung). Dalam matematika, jarak haruslah memenuhi kriteria tertentu.

3.2.2.3 Waktu

Waktu menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (1997) adalah seluruh rangkaian saat ketika proses, perbuatan atau keadaan berada atau berlangsung.

Berbeda dengan koordinat posisi, jarak tidak mungkin bernilai negatif. Jarak merupakan besaran skalar, sedangkan perpindahan merupakan besaran vektor.

Jarak yang ditempuh oleh kendaraan (biasanya ditunjukkan dalam odometer), orang, atau obyek, haruslah dibedakan dengan jarak antara titik satu dengan lainnya.

3.2.2.4 Percepatan

Dalam fisika, percepatan adalah besarnya perubahan (atau turunan terhadap waktu dari kecepatan, yang merupakan vektor) dengan dimensi panjang/waktu². Dalam satuan SI adalah meter/detik². Percepatan dilambangkan dengan a . Percepatan bisa bernilai positif dan negatif. Bila nilai percepatan positif, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan benda yang mengalami percepatan positif ini bertambah (dipercepat). Sebaliknya bila negatif, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan benda menurun (diperlambat). Contoh percepatan positif adalah : jatuhnya buah dari pohonnya yang dipengaruhi gravitasi. Sedangkan contoh percepatan negatif adalah : mengerem mobil.

3.3 Hukum II Newton.

Persamaan $F = ma$ dapat diterjemahkan dalam 2 pernyataan.

- Bila sebuah benda dengan massa m mendapat percepatan a , maka gaya sebesar ma bekerja pada benda tersebut. Bila sebuah benda bermassa m
- mendapat gaya F , maka benda tersebut akan dipercepat sebesar F/m

Gaya gravitasi = massa dan berat.

Dari hukum kedua Newton bahwa massa mengukur ketahanan benda untuk berubah gerakannya, yaitu inersianya. Massa adalah sifat intrinsik dari suatu benda, tidak tergantung ketinggian maupun keadaan yang lain.

Berat merupakan gaya yang diperlukan benda untuk melakukan gerak jatuh bebas. Untuk gerak jatuh bebas $a = g$ = percepatan gravitasi setempat.

$$F = m a$$

$$w = m g$$

Berat tergantung pada lokasi terhadap bumi.

3.4 Hukum III Newton.

Hukum ketiga Newton menyatakan adanya pasangan gaya aksi-reaksi.

Pasangan gaya aksi-reaksi :

- ♠ terjadi serentak
- ♠ bekerja pada benda yang berbeda
- ♠ sama besar
- ♠ berlawanan arah

Fdt : gaya oleh dinding pada tali

Ftd : gaya oleh tali pada dinding

wt : gaya tarik bumi pada tali

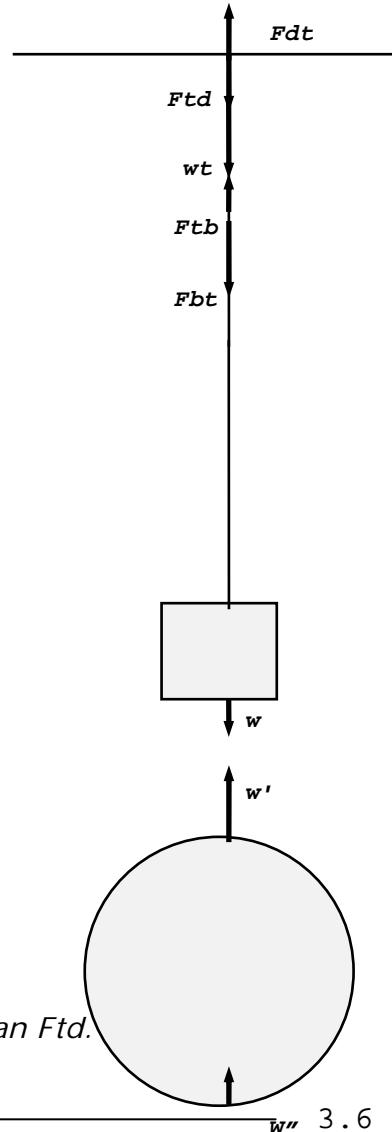
Ftb : gaya oleh tali pada balok

Fbt : gaya oleh balok pada tali

w : gaya tarik bumi pada balok

w' : gaya tarik balok pada bumi

w'' : gaya tarik tali pada bumi



Merupakan pasangan gaya aksi - reaksi :

w dan w' , wt dan wt' , Fbt dan Ftb , Fdt dan Ftd .

3.5. PEMAKAIAN HUKUM NEWTON

Hukum kedua Newton , $F = m a$, merupakan bagian yang penting di dalam menyelesaikan masalah-masalah mekanika. Ada beberapa langkah yang berguna untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah mekanika. *Gaya Termasuk Vektor* penjumlahan gaya = penjumlahan vektor.

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha}$$

α = sudut terkecil antara F_1 dan F_2

Untuk menjumlahkan beberapa vektor gaya maka gaya-gaya tersebut harus diuraikan pada sumbu koordinatnya (x,y), jadi:

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

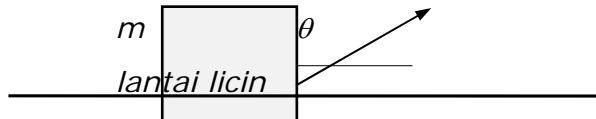
F_x =jumlah komponen gaya pada sb-x

F_y =jumlah komponen gaya pada sb-y

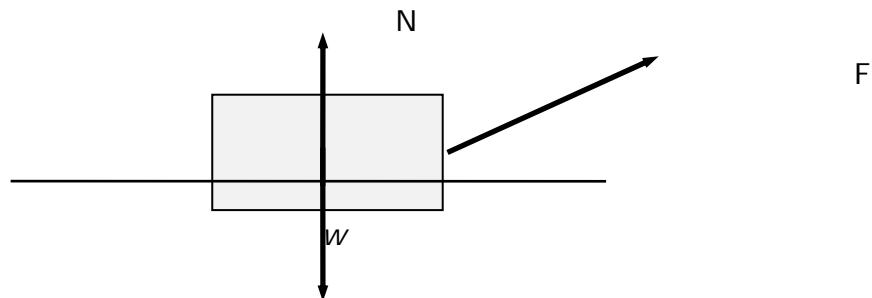
F_R = resultan gaya

a. Identifikasi obyek/benda yang menjadi pusat perhatian.

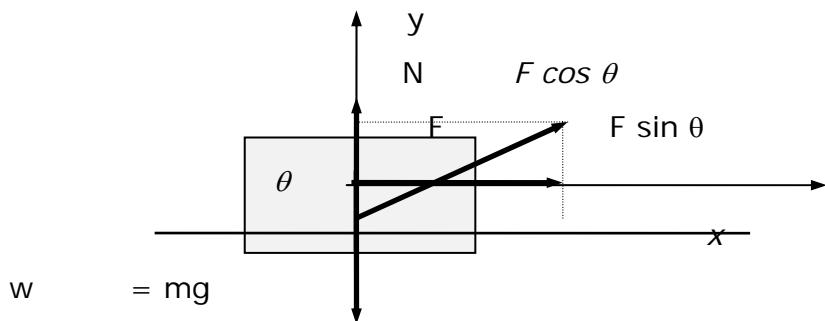
Yang menjadi pusat perhatian : balok



b. Gambar gaya-gaya yang bekerja pada obyek/benda tersebut secara vektor.



- c. Pilih sistem koordinat pada obyek/benda tersebut dan proyeksikan gaya-gaya yang bekerja pada sumbu koordinat.



- d. Tulis hukum kedua Newton dalam $F = ma$, dan jumlahkan F total yang bekerja pada obyek/benda tersebut secara vektor.

komponen x

$$F_x = m a_x$$

$$F \cos \theta = m a_x$$

Komponen y

$$F_y = m a_y$$

$$F \sin \theta + N - mg = m a_y$$

- e. Selesaikan permasalahannya secara simbolik (dengan notasi simbol, misal m, a, F dsb).

Dari dua persamaan dalam komponen x dan komponen y tersebut variabel yang ditanyakan dapat dicari.

- f. Masukkan nilai tiap-tiap variabel ke dalam persamaan yang sudah diperoleh.

3.6. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Kinematika adalah Ilmu gerak yang membicarakan gerak suatu benda tanpa memandang gaya yang bekerja pada benda tersebut (massa benda diabaikan). Jadi jarak yang *ditempuh benda selama geraknya hanya ditentukan oleh kecepatan v dan atau percepatan a*.

Gerak Lurus Beraturan (GLB) adalah gerak lurus pada arah mendatar dengan kecepatan v tetap (percepatan $a = 0$), sehingga jarak yang *ditempuh S hanya ditentukan oleh kecepatan yang tetap dalam waktu tertentu*.

Pada umumnya GLB didasari oleh Hukum Newton I ($S F = 0$)

$$\cdot S = X = v \cdot t ; a = Dv/Dt = dv/dt = 0$$

$$v = DS/Dt = ds/dt = \text{tetap}$$

Tanda **D** (selisih) menyatakan **nilai rata-rata**.

Tanda **d** (diferensial) menyatakan **nilai sesaat**.

3.6.1 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) adalah gerak lurus pada arah mendatar dengan kecepatan v yang berubah setiap saat karena adanya percepatan yang tetap. Dengan kata lain benda yang melakukan gerak dari keadaan diam atau mulai dengan kecepatan awal akan berubah kecepatannya karena ada percepatan ($a = +$) atau perlambatan ($= -$).

Pada umumnya GLBB didasari oleh Hukum Newton II ($S F = m \cdot a$).

$$v_t = v_0 \pm a \cdot t$$

$$v_t^2 = v_0^2 \pm 2 a S$$

$$S = v_0 t \pm 1/2 a t^2$$

v_t = kecepatan sesaat benda

v_0 = kecepatan awal benda

S = jarak yang ditempuh benda

$f(t)$ = fungsi dari waktu t

$$v = ds/dt = f(t)$$

$$a = dv/dt = \text{tetap}$$

Syarat : Jika dua benda bergerak dan saling bertemu maka jarak yang ditempuh kedua benda adalah sama.

3.7 Gerak Karena Pengaruh Gravitasi

3.7.1 Gerak Jatuh Bebas

adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian h tertentu tanpa kecepatan awal ($v_0 = 0$), jadi gerak benda hanya dipengaruhi oleh gravitasi bumi g .

$$y = h = \frac{1}{2}gt^2 = O(2h/g)$$

$$y_t = g t = O(2 g h)$$

GJB dan analoginya

	Gerak oleh gaya gravitasi	Gerak oleh gaya listrik
Gaya	$F = mg$	$F = qE$
Percepatan	$a = g$	$a = \frac{q}{m}E$
Kecepatan	$v = gt$	$v = \left(\frac{q}{m}E\right)t$
Posisi	$y = \frac{1}{2}gt^2$	$y = \frac{1}{2}\left(\frac{q}{m}E\right)t^2$

g = percepatan gravitasi bumi. $y = h$ = lintasan yang ditempuh benda pada arah vertikal, (diukur dari posisi benda mula-mula).

t = waktu yang dibutuhkan benda untuk menempuh lintasannya.

3.7.2 Gerak Vertikal Ke Atas

adalah gerak benda yang dilempar dengan suatu kecepatan awal v_0 pada arah vertikal, sehingga $a = -g$ (melawan arah gravitasi).

syarat suatu benda mencapai tinggi maksimum (h_{maks}): $V_t = 0$

Dalam penyelesaian soal gerak vertikal keatas, lebih mudah diselesaikan dengan menganggap posisi di tanah adalah untuk $Y = 0$.

Beberapa contoh soal dapat dilihat di bawah :

Contoh:

1. Sebuah partikel bergerak sepanjang sumbu-X dengan persamaan lintasannya: $X = 5t^2 + 1$, dengan X dalam meter dan t dalam detik.

Tentukan :

- a. Kecepatan rata-rata antara $t = 2$ detik dan $t = 3$ detik.
- b. Kecepatan pada saat $t = 2$ detik.
- c. Jarak yang ditempuh dalam 10 detik.
- d. Percepatan rata-rata antara $t = 2$ detik dan $t = 3$ detik.

Jawab:

a. $v_{\text{rata-rata}} = \Delta X / \Delta t = (X_3 - X_2) / (t_3 - t_2) = [(5 \cdot 9 + 1) - (5 \cdot 4 + 1)] / [3 - 2] =$

$$46 - 21 = 25 \text{ m/detik}$$

b. $v_2 = dx/dt |_{t=2} = 10 |_{t=2} = 20 \text{ m/detik.}$

c. $X_{10} = (5 \cdot 100 + 1) = 501 \text{ m} ; X_0 = 1 \text{ m}$

Jarak yang ditempuh dalam 10 detik = $X_{10} - X_0 = 501 - 1 = 500 \text{ m}$

d. $a_{\text{rata-rata}} = \Delta v / \Delta t = (v_3 - v_2) / (t_3 - t_2) = (10 \cdot 3 - 10 \cdot 2) / (3 - 2) = 10 \text{ m/det}^2$

2. Jarak PQ = 144 m. Benda B bergerak dari titik Q ke P dengan percepatan 2 m/s^2 dan kecepatan awal 10 m/s . Benda A bergerak 2 detik kemudian dari titik P ke Q dengan percepatan 6 m/s^2 tanpa kecepatan awal. Benda A dan B akan bertemu pada jarak berapa ?

Jawab:

Karena benda A bergerak 2 detik kemudian setelah benda B maka $t_B = t_A + 2$.

$$S_A = v_0 \cdot t_A + \frac{1}{2} a \cdot t_A^2 = 0 + 3 t_A^2$$

$$S_B = v_0 \cdot t_B + \frac{1}{2} a \cdot t_B^2 = 10 (t_A + 2) + (t_A + 2)^2$$

Misalkan kedua benda bertemu di titik R maka

$$S_A + S_B = PQ = 144 \text{ m}$$

$$3t_A^2 + 10(t_A + 2) + (t_A + 2)^2 = 144$$

$$2t_A^2 + 7t_A - 60 = 0$$

Jadi kedua benda akan bertemu pada jarak $S_A = 3t_A^2 = 48 \text{ m}$ (dari titik P).

3. Grafik di bawah menghubungkan kecepatan V dan waktu t dari dua mobil A dan B, pada lintasan dan arah sama. Jika $\text{tg } a = 0.5 \text{ m/det}$, hitunglah:

- a. Waktu yang dibutuhkan pada saat kecepatan kedua mobil sama.
- b. Jarak yang ditempuh pada waktu menyusul

Jawab:

Dari grafik terlihat jenis gerak benda A dan B adalah GLBB dengan $V_0(A) = 30 \text{ m/det}$ dan $V_0(B) = 0$.

a. Percepatan kedua benda dapat dihitung dari gradien garisnya,
jadi : $a_A = \tan \alpha = 0.5$

$$10/t = 0.5 \Rightarrow t = 20 \text{ det}$$

$$a_B = \tan \beta = 40/20 = 2 \text{ m/det}$$

b. Jarak yang ditempuh benda

$$S_A = V_0 t + 1/2 at^2 = 30t + 1/4t^2$$

$$S_B = V_0 t + 1/2 at^2 = 0 + t^2$$

pada saat menyusul/bertemu : $S_A = S_B \Rightarrow 30t + 1/4 t^2 = t^2 \Rightarrow t = 40 \text{ det}$

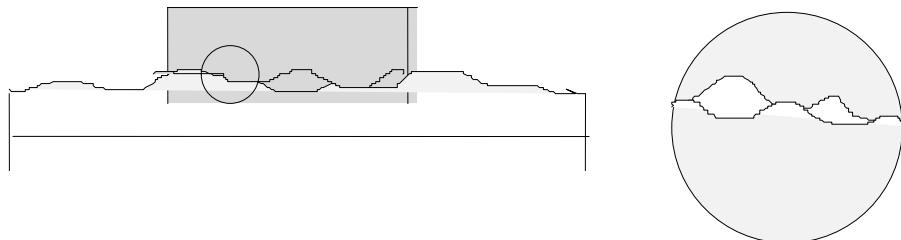
Jadi jarak yang ditempuh pada saat menyusul : $S_A = S_B = 1/2 \cdot 2 \cdot 40^2 =$

1600 meter

3.8. Gesekan

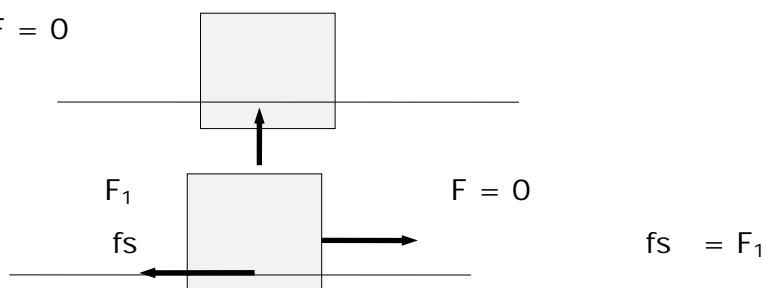
Gaya gesek adalah gaya yang terjadi antara 2 permukaan yang bergerak relatif berlawanan.

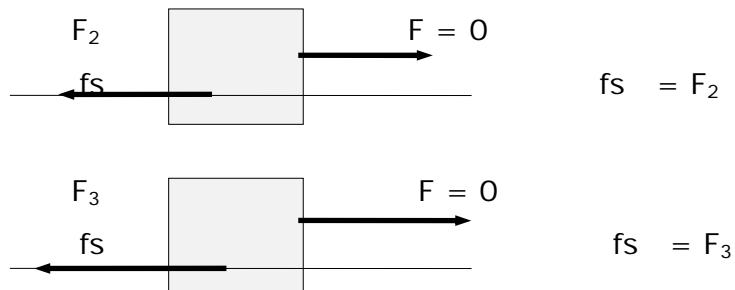
adhesi permukaan



Tinjau sebuah balok yang terletak pada bidang datar yang kasar.

diam $F = 0$





Gaya gesek yang terjadi selama benda diam disebut *gaya gesek statik*. Gaya gesek statik maksimum adalah gaya terkecil yang dibutuhkan agar benda mulai bergerak. Gaya gesek statik maksimum :

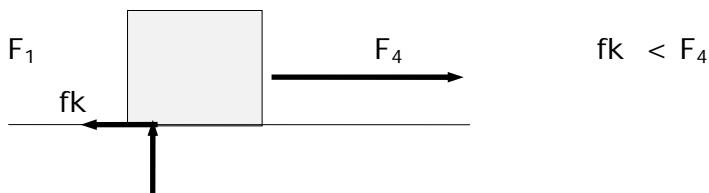
- Tidak tergantung luas daerah kontak.
- sebanding dengan gaya normal. *Gaya normal* muncul akibat deformasi elastik benda-benda yang bersinggungan.

$$f_s \leq \mu_s N$$

μ_s = koefisien gesek statis

Bila F_3 diperbesar sedikit saja, benda akan bergerak.

mulai bergerak $F = m a$

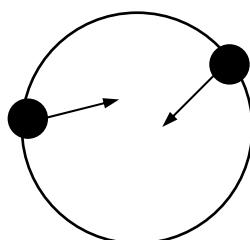


Gaya gesek yang terjadi selama benda sedang bergerak disebut gaya gesek kinetik.

$$f_k = \mu_k N$$

μ_k = koefisien gesek kinetic

3.9 . Dinamika Gerak Melingkar



Suatu partikel yang bergerak melingkar dengan besar kecepatan konstan, partikel tersebut mengalami percepatan (sentripetal) sebesar

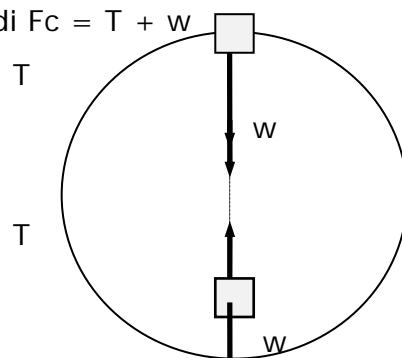
$$a = v^2/r$$

yang arahnya menuju ke pusat lingkaran (kelengkungan).

Dari hukum ke-2 Newton, bahwa apabila sebuah benda bergerak dipercepat maka pada benda tersebut bekerja gaya. Maka pada kasus benda bergerak melingkar, pada benda tersebut bekerja gaya yang arahnya juga ke pusat. Gaya-gaya tersebut disebut **gaya sentripetal**. Reaksi dari gaya sentripetal disebut **gaya sentrifugal**, yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan dengan arah gaya sentripetal

Contoh : sebuah balok yang diputar vertikal dengan tali.

pada posisi di A gaya yang menuju ke pusat adalah tegangan tali T dan berat balok w, jadi $F_c = T + w$



Pada posisi di bawah, gaya yang menuju ke pusat adalah tegangan tali T dan berat balok w (arah menjauhi pusat). Jadi $F_c = T - w$

Bagaimana gaya sentripetalnya bila balok berada pada posisi di samping.

5. Gerak Berbentuk Parabola

3.9.1 Gerak Setengah Parabola

Benda yang dilempar mendatar dari suatu ketinggian tertentu dianggap tersusun atas dua macam gerak, yaitu :

a. Gerak pada arah sumbu X (GLB)

$$v_x = v_0$$

$$S_x = X = v_x t$$

b. Gerak pada arah sumbu Y (GJB/GLBB)

$$v_y = 0$$

] ® Jatuh bebas

$$y = 1/2 g t^2$$

3.9.2 Gerak Parabola/Peluru

Benda yang dilempar ke atas dengan sudut tertentu, juga tersusun atas dua macam gerak dimana *lintasan dan kecepatan benda harus diuraikan pada arah X dan Y.*

a Arah sb-X (GLB)

$$v_{0x} = v_0 \cos q (\text{tetap})$$

$$X = v_{0x} t = v_0 \cos q \cdot t$$

b. Arah sb-Y (GLBB)

$$V_{0y} = v_0 \sin q$$

$$Y = v_{0y} t - 1/2 g t^2$$

$$= v_0 \sin q \cdot t - 1/2 g t^2$$

$$v_y = v_0 \sin q - g t$$

Syarat mencapai titik P (titik tertinggi): $v_y = 0$

$$t_{op} = v_0 \sin q / g$$

sehingga

$$t_{op} = t_{pq}$$

$$t_{oq} = 2 t_{op}$$

$$OQ = v_{0x} t_Q = V_0^2 \sin 2q / g$$

$$h_{\max} = v_{0y} t_p - 1/2 g t_p^2 = V_0^2 \sin^2 q / 2g$$

$$vt = \sqrt{(vx)^2 + (vy)^2}$$

beberapa contoh soal dapat dilihat di bawah ini :

Contoh:

1. Sebuah benda dijatuhkan dari pesawat terbang yang sedang melaju horisontal 720 km/jam dari ketinggian 490 meter. Hitunglah jarak jatuhnya benda pada arah horisontal ! ($g = 9.8 \text{ m/det}^2$).

Jawab:

$$v_x = 720 \text{ km/jam} = 200 \text{ m/det}$$

$$h = 1/2gt^2 \Rightarrow 490 = 1/2 \cdot 9.8 \cdot t^2$$

$$t = 100 = 10 \text{ detik}$$

$$X = v_x \cdot t = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ meter}$$

2. Peluru A dan peluru B ditembakkan dari senapan yang sama dengan sudut elevasi yang berbeda; peluru A dengan 30° dan peluru B dengan sudut 60° . Berapakah perbandingan tinggi maksimum yang dicapai peluru A dan peluru B?

Jawab:

Peluru A:

$$h_A = V_0^2 \sin^2 30^\circ / 2g = V_0^2 \cdot 1/4 / 2g = V_0^2 / 8g$$

Peluru B:

$$h_B = V_0^2 \sin^2 60^\circ / 2g = V_0^2 \cdot 3/4 / 2g = 3 V_0^2 / 8g$$

$$h_A : h_B = V_0^2 / 8g : 3 V_0^2 / 8g = 1 : 3$$

Daftar Pustaka :

1. Giancoli, Douglas C., 2001, Fisika Jilid I (terjemahan), Jakarta : Penerbit Erlangga.
2. Halliday dan Resnick, 1991, Fisika Jilid I, Terjemahan, Jakarta : Penerbit Erlangga.
3. Tipler, P.A., 1998, Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan), Jakarta : Penerbit Erlangga.
4. Young, Hugh D. & Freedman, Roger A., 2002, Fisika Universitas (terjemahan), Jakarta : Penerbit Erlangga.