

# Gerak dan Gaya

Drs. Mulyatno, M.Si.



## PENDAHULUAN

---

Dalam modul ini akan kita pelajari beberapa pengertian dasar seperti besaran, satuan dan dimensi, dan juga sifat kuantitatif dari gerak seperti kecepatan, percepatan dan gaya.

Dalam ilmu fisika, keadaan suatu benda dideskripsikan secara kuantitatif dalam bentuk persamaan-persamaan matematis. Karena itu sifat-sifat benda didefinisikan secara kuantitatif sehingga dapat diukur. Dalam mempelajari sifat kuantitatif dari benda tersebut kita akan mengenal besaran, satuan dan dimensi, dan dengan pengenalan sifat kuantitatif ini kemudian dapat kita kembangkan pengetahuan kita sampai kepada deskripsi keadaan benda.

Dalam modul ini, selain akan dibahas bermacam-macam gerak benda juga akan kita pelajari penyebab geraknya, yang dikenal sebagai gaya. Dalam mempelajari gaya, kita akan mengenal hukum-hukum tentang gerak yang dikenal sebagai *Hukum Newton*. Selanjutnya, Hukum Newton tentang gerak kita kenal sebagai hukum dasar dalam mekanika. Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat :

1. menjelaskan besaran, sistem satuan dan dimensi dalam fisika.
2. menerapkan prinsip-prinsip hitung vektor.
3. menjelaskan konsep gerak, kecepatan dan percepatan.
4. menerapkan konsep gerak, kecepatan, dan percepatan dalam persoalan kinematika.
5. menjelaskan konsep gaya dalam Hukum-Hukum Newton.
6. menerapkan konsep gaya dan Hukum-Hukum Newton dalam persoalan dinamika.

## KEGIATAN BELAJAR 1

**Besaran, Satuan, dan Dimensi****A. Besaran**

*Besaran* adalah sifat kuantitatif yang dimiliki oleh benda. Sebagai contoh, jumlah partikel yang terkandung di dalam suatu benda dinyatakan dengan besaran *massa*, besarnya ruang yang dimiliki (ditempati) oleh massa benda dinyatakan dengan besaran *volume*, dan sebagainya. Banyak sekali macam besaran yang dimiliki oleh suatu benda, dan kita akan mempelajarinya satu persatu di dalam setiap pokok bahasan di dalam matakuliah Fisika Umum I ini.

Dalam mekanika kita kenal ada tiga *besaran dasar* atau *besaran pokok* yaitu *massa*, *panjang* dan *waktu*. Besaran-besaran ini sudah biasa kita kenali dalam kehidupan sehari-hari. Pada saat kita menimbang suatu benda, kita sebetulnya sedang mengukur massa benda tersebut. Demikian pula pada saat kita mengukur sesuatu dengan menggunakan mistar (penggaris), kita sedang mengukur panjang dari sesuatu yang kita ukur itu. Dalam mengukur waktu, kita dapat menggunakan arloji (jam) atau *stopwatch*. Besaran-besaran dasar biasanya dituliskan dengan simbol huruf latin atau huruf Yunani dengan huruf miring (*italic*). Massa dituliskan dengan simbol  $m$ , panjang dengan simbol  $l$  dan waktu dengan simbol  $t$ . Besaran-besaran lain dapat diturunkan dari besaran dasar sehingga disebut *besaran turunan*. Masing-masing besaran turunan juga dituliskan dengan satu simbol. Contoh dari besaran turunan adalah kecepatan ( $v$ ), percepatan ( $a$ ), gaya ( $F$ ), energi ( $E$ ), luas ( $A$ ), volume ( $V$ ), dan sebagainya.

**B. Dimensi**

Hubungan antara besaran dasar dan besaran turunan dapat diketahui dari definisi yang diberikan pada besaran turunan. Untuk menyatakan hubungan ini dipergunakan analisis *dimensi*, yaitu suatu cara untuk melihat asal dari suatu besaran turunan. Ada beberapa cara untuk menuliskan simbol dimensi, salah satunya yang akan kita pergunakan dalam modul ini adalah dengan memberi tanda kurung tegak di antara simbol besaran. Sebagai contoh, dimensi dari besaran-besaran dasar kita tuliskan sebagai  $[m]$ ,  $[l]$  dan  $[t]$ . Setiap besaran turunan dalam mekanika dapat dinyatakan ke dalam dimensi besaran dasar. Sebagai contoh, kita ambil besaran *kecepatan*, yang

didefinisikan sebagai *jarak yang ditempuh persatuan waktu*, dimensinya dapat dituliskan sebagai.

$$[v] = \frac{[l]}{[t]}$$

Demikian pula dengan dimensi *luas* misalnya, dimana kita ketahui untuk bentuk yang sederhana, seperti empat persegi panjang, luas adalah *panjang dikali lebar*. Karena panjang dan lebar mempunyai dimensi yang sama yaitu  $[l]$ , maka dimensi luas dapat dinyatakan sebagai ,

$$[A] = [l]^2$$

Dalam menuliskan dimensi, angka-angka tidak perlu dituliskan, misalkan untuk luas suatu permukaan bola yang berjari-jari  $r$ , besarnya dinyatakan dengan  $A = 4\pi r^2$ , tetapi dimensinya cukup dituliskan sebagai  $[A] = [l]^2$ .

Konsep dimensi juga dipergunakan untuk mengecek suatu persamaan keadaan. Sebagai contoh, misalkan suatu besaran  $P$  didefinisikan dalam bentuk Persamaan matematis,

$$P = Q + Rt + St^2$$

dimana  $t$  adalah waktu. Dalam fisika, setiap suku dalam Persamaan tersebut harus mempunyai dimensi yang sama. Jadi, dapat kita tuliskan,

$$[P] = [Q] = [R][t] = [S][t]^2$$

Jika  $P$  misalkan mempunyai dimensi *kecepatan*, yaitu  $[P] = [l]/[t]$   $= [l][t]^{-1}$  maka dimensi dari  $Q$ ,  $R$  dan  $S$  adalah :

$$[Q] = [P] = [l][t]^{-1}$$

$$[R] = \frac{[P]}{[t]} = \frac{[L][t]^{-1}}{[t]} = [L][t]^{-2}$$

$$[S] = \frac{[P]}{[t]^2} = \frac{[L][t]^{-1}}{[t]^2} = [L][t]^{-3}$$

Kegunaan lain dari konsep dimensi adalah untuk menurunkan satuan.

### C. Satuan

Setiap besaran fisika mempunyai *satuan* yang merupakan *ukuran dari besaran*. Dengan adanya satuan maka besaran-besaran fisika dapat diukur, sehingga dapat dinyatakan secara kuantitatif. Satuan-satuan itu ditetapkan dengan perjanjian oleh sekelompok masyarakat. Karena itu, setiap bangsa atau suku bangsa mempunyai sistem satuan masing-masing. Karena banyaknya sistem satuan di dunia ini, maka diperlukan suatu sistem satuan standar yang berlaku secara internasional. Pada tahun 1960, berdasarkan hasil konferensi internasional tentang satuan, ditetapkan sistem satuan standar yang dikenal sebagai *Sistem Internasional* (SI). Dalam sistem ini ditetapkan satuan standar dari besaran dasar mekanika adalah :

- meter* (m) untuk satuan panjang,
- kilogram* (kg) untuk satuan massa,
- detik* (s) untuk satuan waktu.

Sistem satuan ini diadopsi dari sistem MKS (kependekan dari meter, kilogram, dan second/ detik), yaitu sistem satuan yang sebelumnya sudah dipergunakan di banyak negara.

Definisi dari satuan standar sampai saat ini sudah mengalami beberapa kali perubahan. *Satu meter* mula-mula didefinisikan sebagai *panjang yang sama dengan sepersepuluh juta panjang ekuator* (garis lintang terbesar pada permukaan bumi). Kemudian, definisi satuan meter mengalami perubahan dan didefinisikan sebagai *panjang yang sama dengan 1.650.763,73 kali panjang gelombang cahaya merah jingga yang*



**Gambar 1-1.**

Meter standar, berbentuk batang dengan penampang berbentuk huruf *x*, tersimpan di Sevres, Perancis.  
(Dari Online Conversion.com)

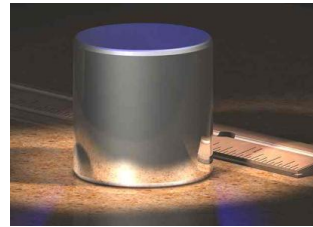
*dipancarkan oleh atom krypton. Definisi yang terbaru dari satu meter adalah panjang yang sama dengan jarak yang ditempuh cahaya di dalam ruang vakum dalam interval waktu 1/299.792.458 detik. Ukuran dari satu meter standar dibuat dari bahan platina-iridium yang salah satunya tersimpan di Biro Pengukuran Internasional di dekat kota Paris, sedangkan beberapa yang lainnya tersimpan di laboratorium-laboratorium yang tersebar di seluruh dunia.*

Definisi dari *satu kilogram* mula-mula adalah *massa yang sama dengan massa satu liter air murni pada temperatur 20<sup>o</sup> C dan tekanan 1 atm.* Kemudian sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, definisinya berubah menjadi *massa yang sama dengan 5,978716 × 10<sup>26</sup> kali massa atom hidrogen.*

Definisi dari *satu detik* mula-mula adalah interval waktu yang sama dengan 1/86.400 rata-rata satu hari matahari (*a mean solar day*). Saat ini definisi dari

satu detik adalah interval waktu yang sama dengan waktu yang dibutuhkan oleh radiasi dari atom caesium untuk bergetar sebanyak 9.192.637.770 kali.

Dalam praktik pengukuran, skala MKS kadang-kadang terlalu kecil atau terlalu besar. Karena itu, diperlukan satuan-satuan lain yang skalanya lebih kecil atau lebih besar. Dalam sistem MKS atau dikenal sebagai *Sistem Metrik*, penulisan satuan biasanya menggunakan awalan yang menunjukkan kelipatan 10. Sebagai contoh, satu kilogram menunjukkan 10<sup>3</sup> gram, satu centimeter menunjukkan 10<sup>-2</sup> meter, dan sebagainya. Kata-kata awalan yang biasa dipergunakan dalam sistem metrik diberikan pada Tabel 1.1. Kata-kata awalan itu mengikuti kata meter, gram atau detik sesuai dengan jenis besaran yang diukur. Contohnya adalah kilo-gram, centi-meter, mili-detik, dan sebagainya.



**Gambar 1-2.**

Kilogram standar, terbuat dari paltina-iridium, tersimpan di Sevres, Perancis.  
(Dari Online Conversion.com)

**Tabel 1.1**  
**Awalan pada Sistem Metrik**

Awalan	Arti Awalan	Simbol	Faktor konvensi	Awalan	Arti Awalan	Simbol	Faktor konvensi
Tera	setrilyun	T	$10^{12}$	Desi	sepersepuluh	d	$10^{-1}$
Giga	semilyar	G	$10^9$	Centi	seperseratus	c	$10^{-2}$
Mega	Sejuta	M	$10^6$	Mili	sepersribu	m	$10^{-3}$
Kilo	Seribu	k	$10^3$	Mikro	sepersejuta	$\mu$	$10^{-6}$
Hekto	Seratus	h	$10^2$	Nano	sepersemilyar	n	$10^{-9}$
Deka	sepuluh	da	10	Piko	sepersetrilyun	p	$10^{-12}$

Meter, gram, dan detik (second) sebagai satuan diberi simbol m, g dan s. Simbol satuan ditulis dengan **huruf tegak**. Jadi, simbol satuan standar (SI) adalah m, kg dan s, dimana  $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$  (lihat Tabel 1.1). Dari Tabel 1.1 kita ketahui besarnya,

$$1 \text{ m} = 10^{-3} \text{ km} = 10^3 \text{ mm} = \dots \text{ dan seterusnya}$$

$$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g} = 10^{-6} \text{ Gg} = 10^6 \text{ mg} = \dots \text{ dan seterusnya}$$

$$1 \text{ s} = 10^{-3} \text{ ms} = 10^{-6} \mu\text{s} = 10^{-9} \text{ ns} = \dots \text{ dan seterusnya.}$$

Untuk satuan waktu yang lebih besar dari 60 s biasanya dikonversi terhadap satuan menit, jam, hari, tahun, dan seterusnya, dengan faktor konversi sebagai berikut :

$$1 \text{ tahun} = 365,25 \text{ hari}$$

$$1 \text{ hari} = 24 \text{ jam}$$

$$1 \text{ jam} = 60 \text{ menit}$$

$$1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$$

Penulisan satuan dari besaran turunan dapat ditentukan berdasarkan analisis dimensi. Berikut ini adalah beberapa contoh penulisan satuan dari besaran turunan,

<b>Besaran</b>	<b>Dimensi</b>	<b>Satuan (SI)</b>
Luas	$[A] = [L]^2$	$m^2$
Volume	$[V] = [L]^3$	$m^3$
Kecepatan	$[v] = [L]/[t] = [L][t]^{-1}$	$m/s = ms^{-1}$

Beberapa satuan dari besaran turunan diberi nama sendiri, biasanya sebagai penghargaan terhadap orang-orang yang telah berjasa besar di bidang fisika. Berikut ini adalah beberapa satuan dari besaran turunan dalam mekanika dengan faktor konversinya,

<b>Besaran</b>	<b>Satuan</b>	<b>Simbol</b>	<b>Konversi ke-SI</b>
Gaya	newton	N	$1N = 1 \text{ kg.m/s}^2$
	dyne	dyne	$1 \text{ dyne} = 10^5 \text{ N}$
Energi	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$
	erg	erg	$1 \text{ erg} = 10^7 \text{ J}$
Daya	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Penulisan satuan lain yang tidak mempunyai nama khusus dituliskan berdasarkan analisis dimensinya. Sebagai contoh, besaran momentum ( $p$ ) didefinisikan sebagai hasil kali antara *massa* dan *kecepatan* maka dimensinya adalah :

$$[p] = [m][v] = [m][L][t]^{-1}$$

sehingga satuannya dalam SI adalah  $\text{kg.ms}^{-1}$ .

Beberapa besaran turunan dinyatakan dalam *besaran spesifik*, yaitu dinyatakan *persatuan volume* atau *persatuan massa*. Berikut ini adalah beberapa contoh besaran spesifik :

<b>Besaran</b>	<b>Simbol</b>	<b>Satuan</b>
Kerapatan massa	$\rho = m/V$	$\text{kg/m}^3$
Kerapatan energi	$\varepsilon = E/V$	$\text{J/m}^3$

Kerapatan massa adalah massa persatuan volume, sering disebut *massa jenis*. Kerapatan energi adalah energi persatuan volume, juga sering disebut *energi jenis*.

Penggunaan satuan harus konsisten, khususnya dalam menyelesaikan masalah fisika. Jika satu besaran kita nyatakan dalam SI maka besaran lainnya harus kita konversi ke satuan SI. Sebagai contoh, misalkan kita akan menghitung besarnya gaya yang menyebabkan sebuah benda yang massanya  $m = 100$  gram dapat bergerak dengan percepatan  $a = 5 \text{ m/s}^2$ , dengan menggunakan rumus  $F = ma$ . Jika kita akan menggunakan satuan SI, maka satuan massa harus diubah ke dalam kg, atau  $m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$ . Dengan demikian, kita dapatkan,  $F = (0,1 \text{ kg})(5 \text{ m/s}^2) = 0,5 \text{ kg m/s}^2 = 0,5 \text{ N}$ .

Selain SI ada beberapa sistem satuan lain yang sering dipergunakan, misalkan *sistem cgs*, yaitu kependekan dari centimeter, gram, dan second, dimana besaran-besaran dasar dinyatakan dalam satuan-satuan ini sebagai satuan standarnya. Sistem satuan yang lain adalah *sistem Inggris (British Unit)* yang menggunakan satuan standar feet (ft), pound (lb) dan second (s), masing-masing untuk satuan panjang, gaya dan waktu. Kita lihat pada sistem Inggris, gaya yang merupakan besaran turunan, dipakai sebagai standar. Pada sistem ini, massa yang merupakan besaran dasar, satuannya diturunkan dari satuan gaya. Satuan massa pada sistem ini adalah *slug*. Konversi satuan sistem Inggris terhadap SI adalah sebagai berikut :

$$1 \text{ ft} = 0,305 \text{ m}$$

$$1 \text{ lb} = 4,45 \text{ N}$$

$$1 \text{ slug} = 14,6 \text{ kg}$$

Dalam BMP Fisika Umum I ini kita lebih banyak menggunakan satuan SI dalam menyelesaikan masalah-masalah fisika. Karena itu, jika ada penggunaan sistem satuan lain di dalam soal-soal, baik pada Contoh Soal, Latihan maupun Tes Formatif, maka dalam penyelesaian soal akan lebih mudah jika kita konversikan dahulu sistem satuannya ke dalam SI.



**D. Ukuran Benda-Benda**

Ukuran panjang satu meter dalam kehidupan sehari-hari kira-kira sama dengan rata-rata tinggi badan anak Sekolah Dasar kelas-3. Kelipatan sepuluhnya, yaitu dalam orde puluhan meter kira-kira sama dengan rata-rata tinggi pepohonan (tanaman keras). Kemudian, dalam orde ratusan meter kira-kira sama dengan tinggi gedung-gedung pencakar langit. Ukuran jarak atau panjang lainnya dalam skala  $10^{-18}$  m –  $10^{27}$  m di alam semesta ini dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Ukuran waktu yang biasa kita alami adalah detik, menit, jam, hari, bulan dan tahun. Ukuran-ukuran lainnya, misalkan mikrodetik, satu tahun cahaya, dan sebagainya hanya kita jumpai di laboratorium atau secara teoritis saja. Interval waktu dari beberapa peristiwa di alam semesta ini, dalam skala  $10^{-24}$  s –  $10^{18}$  s , dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Ukuran massa satu kilogram adalah massa dari satu liter air. Kelipatan sepuluhnya, yaitu dalam orde puluhan kilogram adalah massa dari anak-anak sampai orang dewasa. Selanjutnya, dalam orde ratusan kilogram adalah berat hewan-hewan seperti



kerbau, sapi, kuda, dan sebagainya. Ukuran massa lainnya dalam skala  $10^{30}$  kg –  $10^{50}$  kg di alam semesta ini dapat dilihat pada Tabel 1.4.

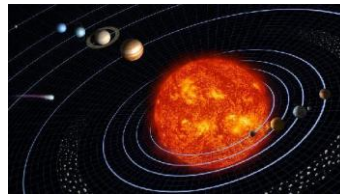
### E. Ketelitian dan Angka Berarti (*Significant Number*)

Dalam menyajikan angka-angka hasil pengukuran biasanya dituliskan dalam bentuk angka berarti (angka signifikan). Jika mengukur suatu besaran, misalkan panjang suatu benda, dengan menggunakan suatu alat ukur secara berulang-ulang, maka kita dapatkan hasil pengukuran yang tidak tepat sama, atau berbeda-beda, disebabkan oleh ketidak-telitian kita membaca hasil pengukuran. Hasil yang kita sajikan biasanya berupa angka rata-rata diikuti dengan kesalahannya. Misalkan  $\bar{x}$  adalah rata-rata hasil pengukuran dan  $\Delta x$  adalah kesalahan pengukuran, maka hasil pengukuran

dinyatakan dengan  $\bar{x} \pm \Delta x$ . Harga  $\bar{x}$  dan  $\Delta x$  dinyatakan dalam bentuk angka berarti (angka signifikan), atau angka yang dapat dipercaya tingkat ketelitiannya. Dalam mengukur panjang suatu benda dengan menggunakan mistar biasa, tingkat ketelitian yang tertera pada alat adalah mencapai 1 mm. Misalkan dari hasil pengukuran kita dapatkan

**Tabel 1.4**  
Ukuran massa di alam semesta

kilogram	
$10^{50}$	Alam semesta
$10^{40}$	Galaksi kita
$10^{30}$	Matahari
$10^{20}$	Bumi Bulan
$10^{10}$	Kapal penumpang terbesar
1	1 gram
$10^{-10}$	Tetes air



**Gambar 1-3**

Model tata surya kita. (Diambil dari <http://billchair.wordpress.com>)



Figure 24.8. Biological Science, 7th  
© 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

**Gambar 1-4**

Mikro organisme.

(Diambil dari <http://educorolla2.blogspot.com>)

$\bar{x} = 217 \text{ mm} = 21,7 \text{ cm}$  dan  $\Delta x = 1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm}$ , maka hasil pengukurannya kita tuliskan sebagai  $(21,7 \pm 0,1) \text{ cm}$ , artinya hasil pengukurannya berkisar antara 21,6 cm s.d. 21,8 cm.

Hasil perkalian dari dua angka signifikan dituliskan dalam angka signifikan yang paling rendah ketelitiannya. Misalkan kita akan mengalikan dua angka signifikan  $21,7 \times 5,65$  maka kita dapatkan hasilnya 122,605 dan kita tuliskan 122,6 sesuai dengan angka signifikan dengan ketelitian yang terendah.

## F. Panjang Karakteristik dan Kekuatan Organisme

Sifat-sifat biologis dari suatu organisme tergantung pada sifat geometrinya seperti panjang, luas, dan volume dari tubuhnya. Untuk benda-benda yang bentuk geometrinya teratur, lebih mudah menghubungkan sifat-sifat ini. Untuk melakukan hal itu, kita pergunakan istilah panjang karakteristik ( $L$ ) dari setiap benda. Untuk benda berbentuk kubus, panjang karakteristiknya adalah panjang rusuknya. Untuk benda berbentuk lingkaran, panjang karakteristiknya adalah jari-jari lingkaran. Selanjutnya, kita ketahui bahwa luas bidang/permukaan benda sebanding dengan  $L^2$  dan volume benda sebanding dengan  $L^3$ . Lebih jauh lagi, jika benda mempunyai kerapatan massa yang homogen maka massanya sebanding dengan  $L^3$ .

Panjang karakteristik dari organisme lebih sulit ditentukan karena bentuknya yang tidak persis seperti kubus atau lingkaran, namun masih dapat ditentukan secara pendekatan. Sebagai contoh, panjang karakteristik untuk manusia dianggap sama dengan tingginya dan untuk seekor anjing kira-kira sama dengan panjang tubuhnya.

Salah satu sifat biologis yang berhubungan dengan panjang karakteristik organisme adalah kekuatannya. Seorang manusia dewasa (massanya  $\cong 60 \text{ kg}$ ) hanya mampu mengangkat beban yang beratnya kira-kira sama dengan berat tubuhnya, tetapi seekor belalang (massanya  $\cong 1 \text{ g}$ ) mampu mengangkat beban yang beratnya sampai 15 kali berat tubuhnya. Kunci dari kekuatan ini adalah pada otot-ototnya. Semua otot tersusun dari sekumpulan serat-serat otot. Serat-serat otot ini besarnya hampir sama dan termuat dengan kerapatan yang hampir sama pada otot-otot dari organisme yang berbeda. Kekuatan otot secara pendekatan sebanding dengan banyaknya serat otot yang terkandung di dalamnya. Luas otot pada suatu organisme secara pendekatan sebanding

dengan luas penampang karakteristiknya, sehingga dapat kita katakan bahwa kekuatan organisme  $\propto L^2$  ( $\propto$  artinya sebanding).

Untuk membandingkan kekuatan dari dua organisme yang berbeda kita bandingkan kekuatan spesifiknya, yaitu kekuatan persatuan massa. Dari pembahasan di atas, kekuatan spesifik dapat dinyatakan dengan,

$$\text{Kekuatan spesifik} = \frac{\text{kekuatan}}{\text{massa}} \propto \frac{L^2}{L^3} = \frac{1}{L}$$

Jika kita misalkan  $L$  (manusia)  $\cong 160$  cm dan  $L$  (belalang)  $\cong 2$  cm maka dapat kita tuliskan

$$\begin{aligned} \frac{\text{Kekuatan spesifik belalang}}{\text{Kekuatan spesifik manusia}} &= \frac{1/L \text{ (belalang)}}{1/L \text{ (manusia)}} \\ &= \frac{1/2 \text{ (cm)}}{1/160 \text{ (cm)}} \\ &= \frac{160 \text{ (cm)}}{2 \text{ (cm)}} \\ &= 80 \end{aligned}$$

Perkiraan di atas ternyata terlalu besar karena kenyataannya perbandingan kekuatan spesifik antara belalang dan manusia hanya 15. Ini berarti ada faktor lain yang ikut menentukan kekuatan organisme, salah satunya adalah bagaimana organisme dapat memanfaatkan kapasitas ototnya seefisien mungkin.

### Contoh 1.1 :

Besaran percepatan ( $a$ ) didefinisikan sebagai perubahan kecepatan persatuan waktu. Tuliskan dimensi dan satuan dari percepatan.

### Penyelesaian :

Dari definisi dapat kita tuliskan,

$$a = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{perubahan waktu}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

dengan  $\Delta$  (delta) menyatakan simbol perubahan. Dimensi dari  $\Delta v$  adalah dimensi kecepatan dan dimensi dari  $\Delta t$  adalah dimensi waktu sehingga dapat kita tuliskan

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = [v][t]^{-1}$$

Dari uraian sebelumnya diketahui,

$$[v] = [L][t]^{-1}$$

sehingga,

$$[a] = [L][t]^{-1}[t]^{-1} = [L][t]^{-2}$$

dan berdasarkan dimensinya maka satuan percepatan dalam SI adalah  $\text{ms}^{-2}$ .

### Contoh 1.2 :

Berdasarkan definisi dari meter standar, perkirakanlah besarnya jejari bumi.

### Penyelesaian :

Kita misalkan bumi berbentuk bola dengan jejari  $R$ . Panjang ekuator bumi adalah keliling lingkaran dengan jejari  $R$ ,

$$L = 2\pi R$$

Berdasarkan definisi meter standar, kita dapatkan,

$$1 \text{ m} = \frac{L}{40 \times 10^6} = \frac{2\pi R}{40 \times 10^6} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{4 \times 10^7}{2\pi} \approx 6,37 \times 10^6 \text{ m}$$

### Contoh 1.3 :

Diketahui massa jenis air murni ( $\rho_{\text{air}}$ ) besarnya  $1 \text{ g/cm}^3$ . Nyatakan besarnya massa jenis air dalam SI.

**Penyelesaian :**

Kita ketahui,

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg} &= 10^3 \text{ g} & \rightarrow & 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg} \\ 1 \text{ cm} &= 10^{-2} \text{ m} & \rightarrow & 1 \text{ cm}^3 = (10^{-2})^3 \text{ m}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Jadi kita dapatkan,

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/cm}^3 = \frac{10^{-3}}{10^{-6}} \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

**Contoh 1.4 :**

Berapakah besarnya 1 km jika dinyatakan dalam satuan ft ?

**Penyelesaian :**

$$\begin{aligned} 1 \text{ ft} &= 0,305 \text{ m} & \Rightarrow & 1 \text{ m} = \frac{1}{0,305} \text{ ft} \\ 1 \text{ km} &= 10^3 \text{ m} = 10^3 \times \frac{1}{0,305} \text{ ft} = 3278,689 \text{ ft} \end{aligned}$$

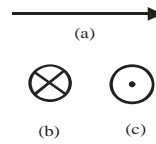
**G. Besaran Skalar dan Besaran Vektor**

Dalam fisika dikenal ada besaran-besaran yang hanya dicirikan oleh besar atau nilainya saja dan ada juga besaran-besaran yang dicirikan dengan besar dan arahnya. Besaran yang hanya mempunyai besar saja dan tidak mempunyai arah dikenal sebagai *besaran skalar*. Contohnya adalah *massa*, *volume*, *massa jenis*, *waktu* dan seterusnya. Besaran yang mempunyai besar dan arah dikenal sebagai *besaran vektor*. Contohnya adalah *kecepatan*, *percepatan*, *gaya* dan seterusnya.

Seperi telah dijelaskan sebelumnya, setiap besaran dapat dinyatakan dengan simbol besaran. Untuk membedakan besaran vektor dengan besaran skalar, biasanya besaran vektor dituliskan dengan cetak tebal atau dengan tanda garis di atasnya. Sebagai Contoh, vektor gaya dituliskan dengan simbol ***F*** (huruf dengan cetak tebal) atau  $\vec{F}$  (huruf F miring dengan tanda panah di atasnya).

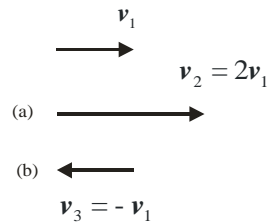
Ada kalanya suatu besaran vektor hanya ditinjau besarnya saja sehingga dituliskan seperti simbol besaran skalar. Sebagai Contoh, jika vektor gaya

hanya kita tinjau besarnya saja maka dituliskan dengan simbol  $F$  saja (tanpa cetak tebal atau tanda garis di atasnya). Besaran vektor biasanya direpresentasikan dengan gambar, yaitu dengan gambar anak panah seperti pada Gambar 1.5, dimana Gambar 1.5a menunjukkan vektor tampak dari samping, Gambar 1.5b menunjukkan vektor tampak dari belakang dengan arah vektor tegak lurus bidang gambar menjauhi kita, dan Gambar 1.5c menunjukkan vektor tampak dari depan dengan arah vektor tegak lurus bidang gambar menuju kita. Dengan menampilkan gambar ini panjang vektor menunjukkan perbandingan besar vektor, dan arah panah (ujung vektor) menunjukkan arah vektor.



**Gambar 1.5.** Representasi vektor dengan gambar.

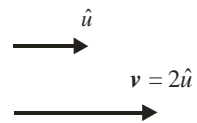
Gambar 1.6 menunjukkan perbandingan dua vektor yang sejenis, masing-masing dengan arah yang sama dan dengan arah yang berlawanan. Vektor yang sejenis maksudnya adalah vektor yang menunjukkan besaran fisika yang sama.



**Gambar 1.6.** Perbandingan vektor

### H. Vektor Satuan

Setiap vektor dapat dituliskan ke dalam *vektor satuan*-nya. Sebagai contoh, misalkan  $\hat{u}$  adalah vektor satuan yang searah dengan vektor  $\mathbf{v}$ , dan besar vektor  $\mathbf{v}$  adalah  $v$  maka vektor  $\mathbf{v}$  dapat dituliskan dalam bentuk.



**Gambar 1.7.** Vektor satuan

$$\mathbf{v} = v\hat{u} \tag{1.1}$$

dengan besar vektor satuan  $u = 1$ . Gambar 1.7 menyatakan vektor satuan  $\hat{u}$  yang searah dengan  $\mathbf{v}$ . Jadi, vektor satuan dapat dikatakan sebagai *vektor yang besarnya (harganya) satu*. Vektor satuan dituliskan dengan simbol yang bertanda ‘payung’ di atasnya atau dituliskan dengan huruf tebal. Vektor

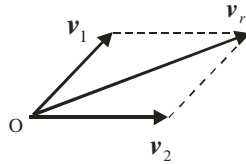
satuan pada arah sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$ , biasanya dinyatakan dengan simbol  $i$ ,  $j$  dan  $k$ .

## I. Penjumlahan Vektor

Beberapa vektor (sejenis) dapat dijumlahkan sehingga menghasilkan sebuah vektor baru yang dikenal sebagai vektor resultan. Ada beberapa cara penjumlahan vektor, diantaranya adalah dengan *metode jajaran genjang* dan *metode uraian*. Di sini kita akan mempelajari kedua metode ini.

### 1. Metode Jajaran Genjang

Menjumlahkan vektor dengan metode ini pada prinsipnya adalah membentuk jajaran genjang dari setiap dua vektor yang akan dijumlahkan, dan diagonal panjangnya menyatakan vektor resultannya. Sebagai contoh,



**Gambar 1.8.**  
Metode jajaran genjang.

misalkan kita akan menjumlahkan dua buah vektor  $v_1$  dan  $v_2$  seperti pada Gambar 1.8.

#### Cara menjumlahkan adalah sebagai berikut :

1. Letakkan titik pangkal kedua vektor pada satu titik pangkal (berhimpit)
2. Bentuklah jajaran genjang dengan sisi-sisi sejajarnya adalah vektor  $v_1$  dan  $v_2$
3. Tariklah diagonal jajaran genjang melalui titik pangkalnya, dan diagonal ini menunjukkan vektor resultan  $v_r$ . Vektor resultan tersebut menyatakan hasil penjumlahan antara vektor  $v_1$  dan  $v_2$ , atau kita tuliskan,

$$v_r = v_1 + v_2 \quad (1.2)$$

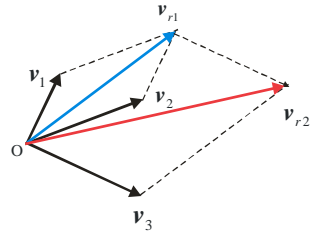
Besar vektor resultan dinyatakan dengan,

$$v_r = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \theta} \quad (1.3)$$



dengan  $v_1$  dan  $v_2$  menyatakan besar vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$ , dan  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk oleh vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$ .

Jika kita ingin menjumlahkan lebih dari dua vektor maka kita harus membuat jajaran genjang kedua, ketiga, dan seterusnya, dengan vektor-vektor resultan menjadi salah satu sisi jajaran genjang. Sebagai contoh, misalkan kita akan menjumlahkan tiga buah vektor  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3$  seperti pada Gambar 1.9. Dengan metode jajaran genjang untuk penjumlahan vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  kita dapatkan vektor resultan  $\mathbf{v}_{r1}$ . Selanjutnya, dengan cara yang sama kita jumlahkan vektor  $\mathbf{v}_{r1}$  dengan  $\mathbf{v}_3$  menghasilkan vektor resultan  $\mathbf{v}_{r2}$ . Jadi dapat kita tuliskan,



**Gambar 1.9.** Penjumlahan 3 buah vektor dengan metode jajaran genjang.

$$\mathbf{v}_{r1} = \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2 \tag{1.4}$$

$$\mathbf{v}_{r2} = \mathbf{v}_{r1} + \mathbf{v}_3 = \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}_3 \tag{1.5}$$

dengan besar vektornya,

$$v_{r1} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \theta_1} \tag{1.6}$$

$$v_{r2} = \sqrt{v_{r1}^2 + v_3^2 + 2v_{r1}v_3 \cos \theta_2} \tag{1.7}$$

dengan  $\theta_1$  adalah sudut antara  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$ , dan  $\theta_2$  adalah sudut antara  $\mathbf{v}_{r1}$  dan  $\mathbf{v}_3$ .

Dengan cara yang sama kita dapat menjumlahkan banyak vektor dengan metode jajaran genjang. Penjumlahan vektor dapat pula berupa pengurangan vektor. Jika vektor  $\mathbf{v}_r$  merupakan hasil pengurangan vektor  $\mathbf{v}_1$  dengan  $\mathbf{v}_2$  maka dapat kita tuliskan,

$$\mathbf{v}_r = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_1 + (-\mathbf{v}_2) \quad (1.8)$$

dengan vektor  $-\mathbf{v}_2$  adalah vektor yang besarnya sama dengan  $v_2$  tetapi arahnya berlawanan (berbeda  $180^\circ$ ) dengan vektor  $\mathbf{v}_2$ . Gambar 1.10 menunjukkan pengurangan vektor yang dinyatakan oleh Persamaan (1.8). Dari Gambar tersebut besar vektor  $\mathbf{v}_r$  dapat dinyatakan dengan,

$$v_r = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \theta} \quad (1.9)$$

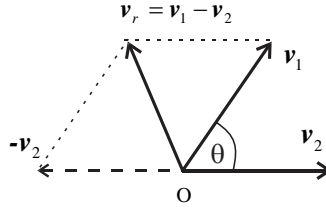
dengan  $\theta$  adalah sudut antara vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$ .

Dari Persamaan (1.9) kita dapatkan bentuk khusus jika  $\theta$  besarnya  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , dan seterusnya. Untuk  $\theta = 0^\circ$ , artinya vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  sejajar atau berhimpit, maka  $\cos \theta = 1$  sehingga besar vektor resultannya

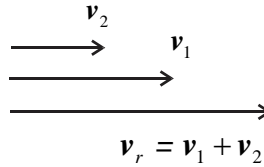
$$\begin{aligned} v_r &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2} \\ &= v_1 + v_2 \end{aligned} \quad (1.10)$$

Untuk  $\theta = 90^\circ$ , artinya vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  saling tegak lurus, maka  $\cos \theta = 0$ , sehingga besar vektor resultannya,

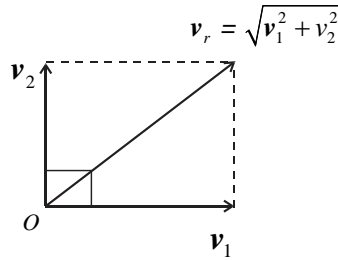
$$v_r = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \quad (1.11)$$



**Gambar 1.10.**  
Pengurangan vektor.



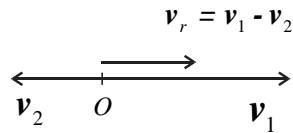
**Gambar1.11.**  
Dua vektor sejajar



**Gambar1.12.**  
Dua vektor saling tegak lurus.

Untuk  $\theta = 180^\circ$ , artinya vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  saling tegak lurus, maka  $\cos \theta = -1$ , sehingga besar vektor resultannya,

$$v_r = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2} = |v_1 - v_2| \quad (1.12)$$

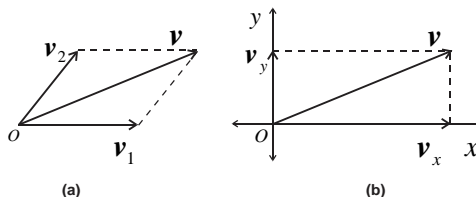


**Gambar1.13.**  
Dua vektor berlawanan arah.

dengan tanda harga mutlak menunjukkan bahwa besar vektor selalu berharga positif.

## 2. Metode Uraian

Kita ketahui bahwa dua buah vektor dapat dijumlahkan dan menghasilkan sebuah vektor baru yang disebut vektor resultan. Secara logika kita dapat menganggap setiap vektor sebagai vektor resultan yang dapat diuraikan ke dalam komponen-komponennya. Gambar 1.14 menunjukkan penguraian sebuah vektor ke dalam komponen-komponennya. Gambar 1.14a menunjukkan uraian vektor  $\mathbf{v}$  ke dalam komponen-komponennya pada arah sembarang. Vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  adalah komponen dari vektor  $\mathbf{v}$ .



**Gambar 1.14.**  
Uraian vektor :  
(a) pada sembarang arah  
(b) pada arah sumbu - x dan y

Gambar 1.14b menunjukkan uraian vektor  $\mathbf{v}$  pada sistem koordinat Cartesian dengan  $\mathbf{v}_x$  dan  $\mathbf{v}_y$  masing-masing adalah vektor komponen pada arah sumbu - x dan y. Vektor  $\mathbf{v}$  dapat dinyatakan sebagai,

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_x + \mathbf{v}_y \quad (1.13)$$

Jika  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{j}$  menyatakan vektor-vektor satuan pada arah sumbu  $x$  dan  $y$ , maka komponen vektor  $\mathbf{v}$  dapat kita tuliskan sebagai

$$\mathbf{v}_x = v_x \mathbf{i} \quad \text{dan} \quad \mathbf{v}_y = v_y \mathbf{j} \quad (1.14)$$

dengan  $v_x$  dan  $v_y$  masing-masing menyatakan besar vektor  $\mathbf{v}_x$  dan  $\mathbf{v}_y$ . Jadi, dengan menggunakan vektor satuan dapat kita tuliskan

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} \quad (1.15)$$

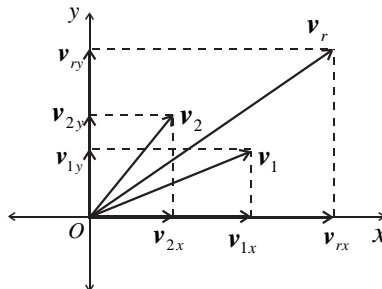
Jika vektor  $\mathbf{v}$  arahnya membentuk sudut  $\theta$  terhadap sumbu  $x$  positif maka besarnya vektor komponen dapat dinyatakan dengan

$$v_x = v \cos \theta \quad (1.16)$$

$$v_y = v \sin \theta \quad (1.17)$$

dengan  $v$  adalah besar vektor  $\mathbf{v}$ .

Dengan metode uraian kita dapat menjumlahkan beberapa vektor dengan terlebih dahulu menguraikan masing-masing vektor ke dalam komponennya pada arah sumbu  $x$  dan  $y$ . Sebagai contoh, misalkan kita akan menjumlahkan dua buah vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  seperti pada Gambar



**Gambar 1.15.**

Penjumlahan dua buah vektor dengan metode uraian

1.15. Cara menjumlahkannya adalah sebagai berikut :

- 1) Uraikan vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  ke dalam komponennya pada arah sumbu  $x$  dan  $y$ , sehingga kita dapatkan vektor komponen  $v_{1x}, v_{1y}, v_{2x}$  dan  $v_{2y}$ . Jika  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  adalah sudut-sudut

antara  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  terhadap sumbu  $x$ , maka besar komponen vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  adalah :

$$\begin{aligned} v_{1x} &= v_1 \cos \theta_1 & , v_{1y} &= v_1 \sin \theta_1 \\ v_{2x} &= v_2 \cos \theta_2 & , v_{2y} &= v_2 \sin \theta_2 \end{aligned}$$

- 2) Jumlahkan vektor-vektor komponen pada arah sumbu  $x$  sehingga dihasilkan vektor resultan pada arah sumbu  $x$ ,

$$\mathbf{v}_{rx} = \mathbf{v}_{1x} + \mathbf{v}_{2x} \quad (1.18)$$

dengan besar vektor

$$v_{rx} = v_{1x} + v_{2x} \quad (1.19)$$

- 3) Jumlahkan vektor-vektor komponen pada arah sumbu  $y$  sehingga dihasilkan vektor resultan pada arah sumbu  $y$ ,

$$\mathbf{v}_{ry} = \mathbf{v}_{1y} + \mathbf{v}_{2y} \quad (1.20)$$

dengan besar vektor,

$$v_{ry} = v_{1y} + v_{2y} \quad (1.21)$$

- 4) Vektor resultan  $\mathbf{v}_r$  didapat dengan menjumlahkan vektor resultan  $\mathbf{v}_{rx}$  dan  $\mathbf{v}_{ry}$  dengan metode jajaran genjang,

$$\mathbf{v}_r = \mathbf{v}_{rx} + \mathbf{v}_{ry} \quad (1.22)$$

dengan besar vektor,

$$v_r = \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2} \quad (1.23)$$

Arah vektor resultan terhadap sumbu  $x$  positif adalah,

$$\tan \theta_r = \frac{v_{ry}}{v_{rx}} \quad (1.24)$$

atau,

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{v_{ry}}{v_{rx}} \right) \quad (1.25)$$

Secara umum, jika kita akan menjumlahkan  $n$  buah vektor, misalkan  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3, \dots, \mathbf{v}_n$  maka besar vektor resultan pada arah sumbu -  $x$  dan  $y$  dapat dinyatakan dengan,

$$v_{rx} = v_{1x} + v_{2x} + \dots + v_{nx} = \sum_{i=1}^n v_{ix} \quad (1.26)$$

atau,

$$v_{ry} = v_{1y} + v_{2y} + \dots + v_{ny} = \sum_{i=1}^n v_{iy} \quad (1.27)$$

### Contoh 1.5 :

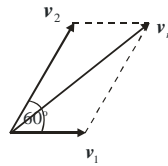
Dua buah vektor yaitu  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  membentuk sudut  $\theta$ , dan besar masing-masing vektor adalah  $v_1 = 4$  satuan dan  $v_2 = 6$  satuan. Gambarkan dengan metode jajaran genjang dan tentukan besarnya :

- $\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2$  untuk  $\theta = 60^\circ$
- $\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2$  untuk  $\theta = 120^\circ$
- $\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$  untuk  $\theta = 60^\circ$
- $\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$  untuk  $\theta = 120^\circ$

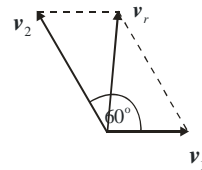
### Penyelesaian :

Dengan metode jajaran genjang dapat kita tentukan resultannya sebagai berikut:

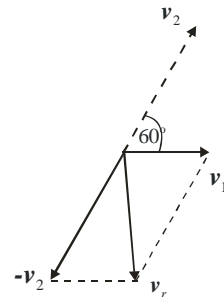
$$\begin{aligned} \text{a) } v_r &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{4^2 + 6^2 + 2(4)(6) \cos 60^\circ} \\ &\approx 8,72 \text{ satuan} \end{aligned}$$



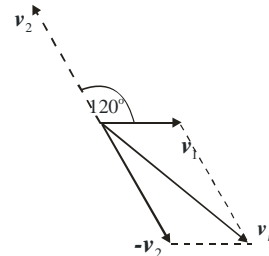
$$\begin{aligned} \text{b) } v_r &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{4^2 + 6^2 + 2(4)(6) \cos 120^\circ} \\ &\approx 5,29 \text{ satuan} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{c) } v_r &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{4^2 + 6^2 - 2(4)(6) \cos 60^\circ} \\ &\approx 5,29 \text{ satuan} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{d) } v_r &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{4^2 + 6^2 - 2(4)(6) \cos 120^\circ} \\ &\approx 8,72 \text{ satuan} \end{aligned}$$



**Gambar 1.16.**  
Contoh penerapan metode jajaran genjang.

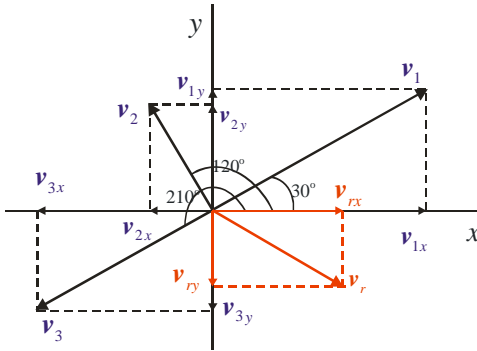
**Contoh 1.6 :**

Tiga buah vektor  $v_1, v_2$  dan  $v_3$ , masing-masing membentuk sudut  $30^\circ$ ,  $120^\circ$  dan  $210^\circ$  terhadap sumbu - x positif, dan besarnya adalah  $v_1 = 4$  satuan ,

$v_2 = 2$  satuan dan  $v_3 = 3$  satuan. Tentukan besar dan arah vektor resultan dengan metode uraian.

**Penyelesaian :**

Dengan metode uraian kita dapatkan,



**Gambar 1.17**

Contoh penerapan metode uraian.

$$v_{1x} = v_1 \cos 30^\circ = (4)(0,87) = 3,46 \text{ satuan}$$

$$v_{1y} = v_1 \sin 30^\circ = (4)(0,5) = 2 \text{ satuan}$$

$$v_{2x} = v_2 \cos 120^\circ = (2)(-0,5) = -1 \text{ satuan}$$

$$v_{2y} = v_2 \sin 120^\circ = (2)(0,87) = 1,73 \text{ satuan}$$

$$v_{3x} = v_3 \cos 210^\circ = (3)(-0,87) = -2,59 \text{ satuan}$$

$$v_{3y} = v_3 \sin 210^\circ = (3)(-0,5) = -1,5 \text{ satuan}$$

Besar vektor resultan pada arah sumbu - x dan y adalah :

$$v_{rx} = v_{1x} + v_{2x} + v_{3x} = 3,46 - 1 - 3,85 \approx -1,39 \text{ satuan}$$

$$v_{ry} = v_{1y} + v_{2y} + v_{3y} = 2 + 1,73 - 1,75 \approx 1,98 \text{ satuan}$$



Besar vektor resultannya adalah :

$$v_r = \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2} = \sqrt{(-0,13)^2 + (2,23)^2} = 2,23 \text{ satuan}$$

Arah vektor resultan (terhadap sumbu - x positif) adalah

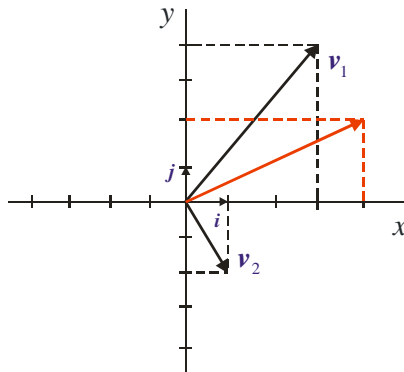
$$\tan \theta = \frac{v_{ry}}{v_{rx}} = \frac{2,23}{-0,13} = -17,15$$

$$\theta = \tan^{-1}(-17,15) = -8,66^\circ = -273,33^\circ$$

**Contoh 1.7 :**

Dua buah vektor pada sistem koordinat kartesian dinyatakan dengan,  $\mathbf{v}_1 = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$  dan  $\mathbf{v}_2 = \mathbf{i} - 2\mathbf{j}$ . Tentukan vektor resultan dari  $\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2$  dalam vektor satuan  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{j}$ .

**Penyelesaian :**



**Gambar 1.18**  
Contoh penerapan metode uraian dengan vektor satuan.

$$\mathbf{v}_1 = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j} \Rightarrow v_{1x} = 3, v_{1y} = 4$$

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{i} - 2\mathbf{j} \Rightarrow v_{2x} = 1, v_{2y} = -2$$

$$v_{rx} = v_{1x} + v_{2x} = 3 + 1 = 4$$

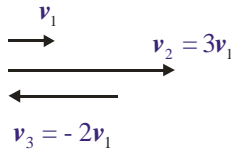
$$v_{ry} = v_{1y} + v_{2y} = 4 - 2 = 2$$

$$\mathbf{v}_r = \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2 = v_{rx} \mathbf{i} + v_{ry} \mathbf{j} = 4\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$$

## J. Perkalian Vektor

Perkalian vektor yang sudah kita kenal dari pembahasan sebelumnya adalah perkalian vektor dengan skalar. Suatu vektor  $\mathbf{v}_1$  jika dikalikan dengan skalar  $k$  akan menghasilkan vektor baru, misalkan  $\mathbf{v}_2$ , yang panjangnya (besarnya)  $k$  kali

panjang vektor  $\mathbf{v}_1$ , dan arahnya sama dengan arah  $\mathbf{v}_1$  jika  $k$  positif, atau berlawanan dengan arah  $\mathbf{v}_1$  jika  $k$  negatif. Gambar 1.19 menunjukkan contoh perkalian vektor dengan skalar.



**Gambar 1-19.**  
Perkalian vektor dengan skalar.

Selain perkalian vektor dengan skalar, dalam perkalian vektor juga dikenal perkalian antara vektor dan vektor. Ada dua macam perkalian vektor dengan vektor yaitu *perkalian titik* (*dot product*) dan *perkalian silang* (*cross product*). Perkalian titik menghasilkan suatu skalar, dan karena itu perkalian ini disebut juga *produk skalar* (*scalar product*). Perkalian silang menghasilkan vektor baru dan karenanya perkalian ini disebut juga *produk vektor* (*vektor product*).

Perkalian titik antara dua buah vektor  $\mathbf{A}$  dan  $\mathbf{B}$  didefinisikan sebagai :

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta \quad (1.28)$$

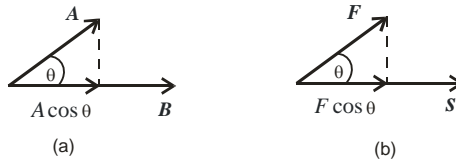
dengan  $A$  dan  $B$  adalah besar masing-masing vektor, dan  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk oleh kedua vektor. Jika kita perhatikan,  $A \cos \theta$  adalah panjang proyeksi vektor  $\mathbf{A}$  pada vektor  $\mathbf{B}$ . Jadi,  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$  dapat kita katakan sebagai *hasil perkalian antara panjang proyeksi vektor  $\mathbf{A}$  pada vektor  $\mathbf{B}$ , dengan panjang vektor  $\mathbf{B}$* .

Besaran fisika yang dihasilkan dari hasil perkalian titik dari dua besaran vektor contohnya adalah *kerja* (*usaha*), yang diberi symbol  $W$ . Kerja adalah

hasil perkalian titik antara vektor gaya ( $F$ ) dan vektor perpindahan/lintasan ( $s$ ). Jadi, dapat dituliskan

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} = Fs \cos \theta$$

dengan  $W$  adalah besaran skalar.



**Gambar 1-20.**

- (a) Perkalian titik menghasilkan skalar.
- (b) Kerja adalah hasil perkalian titik antara gaya dengan lintasan.

Perkalian silang antara vektor  $A$  dan  $B$  didefinisikan sebagai :

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = AB \sin \theta \cdot \mathbf{u} \tag{1.29}$$

dengan  $\mathbf{u}$  adalah vektor satuan yang arahnya tegak lurus vektor  $A$  dan  $B$ . Besar vektor  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  adalah :

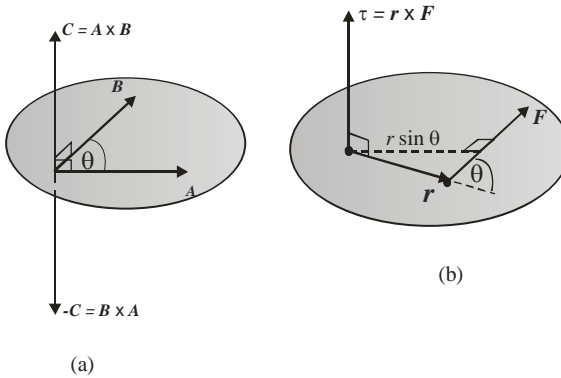
$$|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = AB \sin \theta \tag{1.30}$$

Gambar 1.21a menunjukkan hasil perkalian silang antara dua vektor  $A$  dan  $B$ .

Besaran fisika yang dihasilkan dari hasil perkalian silang dari dua besaran vektor contohnya adalah *momen gaya* ( $\tau$ ). Momen gaya adalah hasil perkalian silang antara vektor jarak ( $r$ ) dan vektor gaya ( $F$ ). Jadi, dapat dituliskan,

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = rF \sin \theta \cdot \mathbf{u}$$

dengan  $\tau$  adalah besaran vektor yang searah dengan vektor satuan  $\mathbf{u}$ , yaitu tegak lurus vektor  $r$  dan  $F$ .

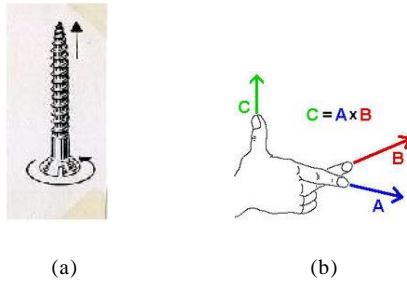
**Gambar 1-21.**

- (a) Perkalian silang menghasilkan vektor yang  $\perp$  vector  $A$  dan  $B$ .  
 (b) Momen gaya merupakan hasil perkalian silang antara vektor jarak dengan gaya.

Dalam menentukan arah  $A \times B$  atau  $B \times A$  dipergunakan *aturan sekrup kanan* atau *aturan tangan kanan*. Dengan aturan sekrup kanan perkalian silang diandaikan dengan pemasangan sekrup. Jika sekrup kita putar kekanan maka sekrup akan bergerak maju. Perkalian silang  $A \times B$  diandaikan sebagai perputaran kekanan vektor  $A$  ke vektor  $B$  sehingga  $A \times B$  seperti arah gerak sekrup jika diputar kekanan. Analogi ini digambarkan seperti pada Gambar 1.22a. Aturan tangan kanan pada prinsipnya sama dengan aturan sekrup kanan. Dengan posisi tangan kanan seperti pada Gambar 1.22b, dimana perkalian silang digambarkan sebagai gerak mengempal jari-jari tangan (kecuali ibu jari) sedangkan arah ibu jari menunjukkan arah vektor hasil perkalian silangnya. Dari gambar 1.22a kita ketahui bahwa arah vektor  $A \times B$  berlawanan dengan arah  $B \times A$ , atau kita tuliskan,

$$A \times B = -B \times A \quad (1.31)$$

sedangkan besar vektornya sama yaitu  $AB \sin \theta$ , dimana  $\theta$  adalah sudut antara vektor  $A$  dan  $B$ .



**Gambar 1-22.**  
 (a) Sekrup kanan  
 (b) Aturan tangan kanan.

**Contoh 1.8 :**

Dua buah vektor, yaitu  $v_1$  dan  $v_2$  masing-masing besarnya 2 satuan dan 3 satuan, dan keduanya membentuk sudut  $60^\circ$ .

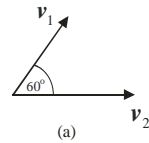
- a. Tentukan besarnya  $v_1 \cdot v_2$
- b. Tentukan besar dan arah dari  $v_1 \times v_2$

**Penyelesaian :**

Dari soal diketahui  $v_1 = 2$  satuan,  $v_2 = 3$  satuan dan  $\theta = 60^\circ$ .

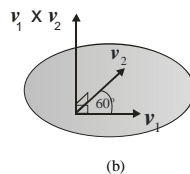
- a. Kita gunakan Persamaan (1.28) :

$$\begin{aligned} v_1 \cdot v_2 &= v_1 v_2 \cos \theta \\ &= (2)(3) \cos 60^\circ \\ &= 3 \text{ satuan} \end{aligned}$$



- b. Kita gunakan Persamaan (1.30)

$$\begin{aligned} |v_1 \times v_2| &= v_1 v_2 \sin \theta \\ &= (2)(3) \sin 60^\circ \\ &= 3\sqrt{3} \text{ satuan} \end{aligned}$$



Arah  $v_1 \times v_2$  adalah seperti pada gambar.

**Contoh 1.9 :**

Besar vektor hasil perkalian titik dan perkalian silang antara dua vektor  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 = 3 \text{ satuan}$$

$$|\mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2| = 2 \text{ satuan}$$

Tentukan besarnya sudut antara kedua vektor tersebut.

**Penyelesaian :**

Dari persamaan (1.28) dan (1.30) dapat kita tuliskan,

$$\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 = v_1 v_2 \cos \theta = 3$$

$$|\mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2| = v_1 v_2 \sin \theta = 2$$

Dengan membagi kedua persamaan ini kita dapatkan,

$$\frac{|\mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2|}{\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta = \frac{2}{3} \quad \Rightarrow \quad \theta = \tan^{-1} \left( \frac{2}{3} \right) = 33,69^\circ$$

**Catatan :**

Dalam operasi penjumlahan vektor, dimana vektor-vektornya merepresentasikan besaran fisika, maka hanya vektor-vektor yang sejenis yang dapat dijumlahkan, misalkan antara sesama vektor kecepatan, sesama vektor gaya, dst. Dalam operasi perkalian vektor kita dapat mengalikan dua buah vektor yang sejenis maupun yang tidak sejenis. Sebagai contoh kita dapat mengalikan dua buah vektor panjang sehingga menghasilkan vektor luas, atau kita dapat mengalikan vektor panjang/jarak ( $\mathbf{r}$ ) dengan vektor gaya ( $\mathbf{F}$ ) dengan perkalian silang sehingga menghasilkan vektor momen gaya ( $\boldsymbol{\tau}$ ), atau dengan perkalian titik sehingga menghasilkan besaran skalar yaitu kerja ( $W$ ).



## LATIHAN 1

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Berapakah faktor konversi dari  $\text{cm}^3$  ke  $\text{in}^3$  (inci kubik) jika diketahui  $1\text{cm} = 0,3937\text{ in}$ . Berapakah faktor konversinya jika kita akan mengkonversi dari  $\text{in}^3$  ke  $\text{cm}^3$ ?
- 2) Besaran gaya didefinisikan sebagai perkalian antara massa dan percepatan. Tentukan dimensi gaya.
- 3) Sebuah balok mempunyai ukuran panjang 16 cm, lebar 4 cm, dan tebal 1 cm, dan massanya 200 g. Tentukan massa jenis balok dalam sistem cgs dan SI.
- 4) Diketahui dua vektor  $A$  dan  $B$  dengan besar vektor  $A = 3$  satuan dan  $B = 5$  satuan. Kedua vektor membentuk sudut  $30^\circ$ .
- 5) Tentukan :
  - a.  $A + B$       c.  $B + A$
  - b.  $A - B$       d.  $B - A$
 dengan metode jajaran genjang, dan tentukan besar vektornya.
- 6) Dua buah vektor  $v_1$  dan  $v_2$  membentuk sudut  $45^\circ$  dan besar masing-masing vektor  $v_1 = 3$  satuan dan  $v_2 = 4$  satuan .
  - a. Tentukan besarnya  $v_1 \cdot v_2$
  - b. Tentukan besar dan arah dari  $v_1 \times v_2$

### *Petunjuk Penyelesaian Latihan*

- 1) Jika  $1\text{ cm} = 0,3937\text{ in}$ , maka  $1\text{ cm}^3 = (0,3937)^3\text{ in}^3 \approx 0,061\text{ in}^3$   
 Jadi faktor konversinya 0,061.  
 Dengan cara yang sama dapat ditentukan faktor konversi dari  $\text{in}^3 \rightarrow \text{cm}^3$ .

- 2) Berdasarkan definisinya, dimensi gaya dapat dituliskan sebagai,

$$[F] = [m][a] = [m][l][t]^{-2} \quad , \text{ karena } [a] = [l][t]^{-2} .$$

- 3) Massa jenis ( $\rho$ ) adalah,

$$\rho = \frac{m}{V}$$

untuk balok, volumenya adalah  $V = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tebal}$   
Jadi, massa jenis dapat ditentukan.

- 4) Untuk pertanyaan a) dan b)  $\rightarrow$  lihat Contoh 1.5.

Untuk pertanyaan c) dan d), misalkan vektor  $\mathbf{A}' = 2\mathbf{A}$  (vektor yang searah dengan  $\mathbf{A}$  dan panjangnya  $2A$ ), maka  $2\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{A}' + \mathbf{B}$ , demikian pula  $2\mathbf{A} - \mathbf{B} = \mathbf{A}' - \mathbf{B}$ , kemudian kerjakan seperti Contoh 1.5.

- 5) Lihat Contoh 1.8.



## RANGKUMAN

Besaran adalah sifat kuantitatif dari suatu benda/sistem. Dalam mekanika dikenal tiga besaran dasar yaitu panjang, massa, dan waktu. Besaran lainnya merupakan turunan dari besaran-besaran dasar tersebut.

Dimensi adalah cara menyatakan besaran ke dalam besaran dasarnya.

Satuan adalah ukuran dari besaran. Satuan besaran dasar menurut SI adalah kilogram (kg) untuk satuan massa, meter (m) untuk satuan panjang dan detik (s) untuk satuan waktu.

Besaran skalar adalah besaran yang hanya mempunyai besar dan tidak mempunyai arah.

Besaran vektor adalah besaran yang mempunyai besar dan arah. Besaran-besaran vektor dapat dijumlahkan dengan menggunakan metode jajaran genjang maupun dengan metode uraian. Dua buah vektor dapat dikalikan dengan perkalian titik (dot product) dan perkalian silang (cross product). Perkalian titik menghasilkan sebuah besaran skalar, dan



perkalian silang menghasilkan sebuah vektor baru dengan arah  $\perp$  kedua vektor asal.



**TES FORMATIF 1** \_\_\_\_\_

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Massa jenis adalah massa persatuan volume. Dimensi dari massa jenis adalah :
 

A. $[m][l]^2$	C. $[m][l]^{-2}$
B. $[m][l]^3$	D. $[m][l]^{-3}$
  
- 2) Sebuah papan mempunyai ukuran panjang 4 m, lebar 30 cm, dan tebal 25 mm. Volume papan tersebut adalah :
 

A. $3 \text{ m}^3$	C. $0,03 \text{ m}^3$
B. $0,3 \text{ m}^3$	D. $0,003 \text{ m}^3$
  
- 3) Dua buah vektor besarnya masing-masing 2 satuan dan 3 satuan. Jika kedua vektor dijumlahkan dihasilkan vektor resultan yang besarnya 4 satuan. Besarnya sudut antara kedua vektor adalah :
 

A. $75,5^\circ$	C. $15,5^\circ$
B. $65,5^\circ$	D. $45,5^\circ$
  
- 4) Dua buah vektor besarnya masing-masing 4 satuan dan 6 satuan, dan masing-masing membentuk sudut  $30^\circ$  dan  $60^\circ$  terhadap sumbu -  $x$  positif pada sistem koordinat Cartesien. Jika kedua vektor dijumlahkan dengan cara uraian maka komponen resultan pada arah sumbu -  $x$  besarnya . . .
 

A. $2+3\sqrt{3}$ satuan	C. $3+2\sqrt{3}$ satuan
B. $2+3\sqrt{2}$ satuan	D. $3+2\sqrt{2}$ satuan
  
- 5) Dari soal No.4), komponen resultan pada arah sumbu -  $y$  besarnya . . .
 

A. $2+3\sqrt{3}$ satuan	C. $3+2\sqrt{3}$ satuan
B. $2+3\sqrt{2}$ satuan	D. $3+2\sqrt{2}$ satuan
  
- 6) Dari soal No.4), besarnya vektor resultan adalah:
 

A. 9,72 satuan	C. 5,28 satuan
B. 7,93 satuan	D. 3,92 satuan

- 7) Dua buah vektor besarnya masing-masing 4 satuan dan 5 satuan, dan keduanya mem-bentuk sudut  $60^\circ$ . Hasil perkalian titik kedua vektor tersebut adalah :
- A. 20 satuan                      C. 10 satuan  
 B.  $20\sqrt{3}$  satuan            D.  $10\sqrt{3}$  satuan
- 8) Dari soal No.7), hasil perkalian silang kedua vektor besarnya . . .
- A. 20 satuan                      C. 10 satuan  
 B.  $20\sqrt{3}$  satuan            D.  $10\sqrt{3}$  satuan

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan : 90 - 100% = baik sekali  
 80 - 89% = baik  
 70 - 79% = cukup  
 < 70% = kurang

Apabila Anda mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

## KEGIATAN BELAJAR 2

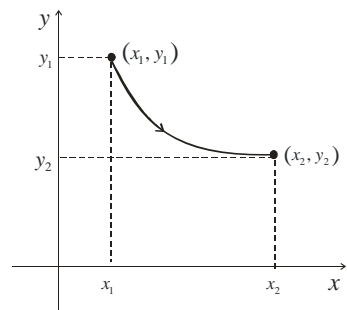
## Kinematika

### Gerak Satu dan Dua Dimensi

Pada Kegiatan Belajar 2 ini kita akan mempelajari tentang gerak benda tanpa memandang penyebab geraknya. Pembahasan ini dikenal sebagai *kinematika*. Pembahasan tentang gerak dengan memperhitungkan penyebab geraknya dikenal sebagai *dinamika*, yang akan kita pelajari pada kegiatan belajar berikutnya. Dalam pembahasan kinematika dan dinamika, khususnya untuk Modul 1 dan 2, bentuk dan ukuran benda (yang kita bahas) diabaikan, dan setiap benda dianggap sebagai benda titik sampai nanti kita mempelajari mekanika benda tegar pada Modul 3, dimana kita akan mempelajari bentuk dan ukuran benda berpengaruh pada sifat gerak benda. Pembahasan tentang gerak dalam mekanika pada pokok bahasan ini kita batasi hanya pada gerak satu dan dua dimensi. Pada pembahasan tentang gerak dua dimensi kita akan mempelajari gerak lengkung pada bidang datar, diantaranya, adalah gerak peluru dan gerak melingkar. Di samping itu, sebagai penerapan dari apa yang telah kita pelajari pada kegiatan belajar sebelumnya, yaitu tentang vektor, kita juga akan mempelajari tentang gerak relatif.

#### A. Gerak dan Kerangka Acuan

Gerak adalah perubahan posisi pada suatu kerangka acuan. Pada dasarnya kita bebas menentukan kerangka acuan, tetapi untuk memudahkan menganalisa sebaiknya kita memilih kerangka acuan yang sederhana. Sistem koordinat Cartesian dapat kita pilih sebagai kerangka acuan. Dalam sistem koordinat ini, posisi suatu benda dinyatakan sebagai satu titik koordinat, dan perubahan posisi benda adalah perubahan koordinatnya. Gambar 1.23 merepresentasikan perubahan posisi benda dari titik



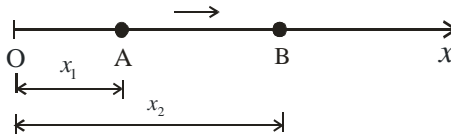
**Gambar 1-23.**  
Perubahan posisi pada sistem koordinat kartesian.

$(x_1, y_1)$  ke titik  $(x_2, y_2)$  pada sistem koordinat Cartesian.

## B. Kecepatan dan Percepatan

Marilah kita pandang gerak benda pada satu lintasan lurus, misalkan gerak sepanjang sumbu- $x$  seperti pada Gambar 1.24. Titik-O merupakan titik acuan. Misalkan benda bergerak melalui titik A dan B. Ketika benda melalui titik A, yang berjarak  $x_1$  dari titik-O, kita catat waktu tempuhnya  $t_1$ . Kemudian ketika melalui titik B, yang berjarak  $x_2$  dari titik-O, kita catat waktu tempuhnya  $t_2$ . Jadi dalam selang waktu  $\Delta t = t_2 - t_1$  benda menempuh jarak  $\Delta x = x_2 - x_1$ . Kecepatan rata-rata benda ( $\bar{v}$ ) dalam selang waktu  $\Delta t$  didefinisikan sebagai,

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.32)$$



**Gambar 1-24.**  
Gerak sepanjang sumbu -  $x$

Jika selang waktu  $\Delta t$  sangat kecil, atau  $\Delta t \rightarrow 0$ , maka benda dapat dianggap belum beranjak dari tempatnya sehingga kecepatan rata-ratanya dapat dianggap sebagai *kecepatan sesaat*, yaitu kecepatan pada saat benda mulai diamati. Karena itu, kecepatan sesaat ( $v$ ) dapat didefinisikan sebagai,

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.33)$$

Persamaan (1.33) dapat dinyatakan dalam bentuk diferensial,

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (1.34)$$

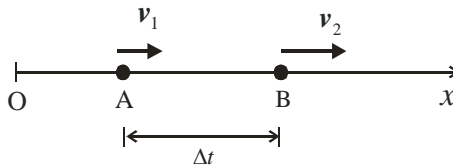
dan Persamaan (1.34) menyatakan bahwa kecepatan (sesaat) merupakan turunan pertama dari lintasan (perpindahan/perubahan posisi) terhadap waktu. Satuan dari kecepatan adalah satuan panjang (jarak) persatuan waktu. Dalam SI satuannya adalah meter perdetik (m/s).

Secara umum perubahan lintasan dinyatakan dengan  $\Delta s$ , dan kecepatan rata-rata serta kecepatan sesaat dinyatakan dengan :

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1.35}$$

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \tag{1.36}$$

Jadi, secara matematis dapat kita katakan bahwa kecepatan adalah turunan pertama lintasan terhadap waktu. Satuan kecepatan menurut SI adalah meter per second (m/s).



**Gambar 1-25.**

Gerak sepanjang sumbu  $-x$  dengan perubahan kecepatan.

Apabila kecepatan suatu benda tidak konstan artinya berubah terhadap perubahan waktu maka dikatakan benda mengalami percepatan. Gambar 1-25 menunjukkan gerak sepanjang sumbu- $x$  dengan perubahan kecepatan. Pada saat  $t_1$  benda berada di titik A dengan kecepatan  $v_1$  dan pada saat  $t_2$  benda berada di titik B dengan kecepatan  $v_2$ , maka dalam selang waktu  $\Delta t = t_2 - t_1$  besarnya perubahan kecepatan adalah  $\Delta v = v_2 - v_1$ . Percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) dalam selang waktu  $\Delta t$  didefinisikan sebagai :

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{1.37}$$

dan jika  $\Delta t$  sangat kecil, atau  $\Delta t \rightarrow 0$ , maka percepatan rata-rata menjadi percepatan sesaat,

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.38)$$

atau dalam bentuk diferensial,

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1.39)$$

Jadi, dapat kita katakan bahwa percepatan adalah turunan pertama kecepatan terhadap waktu. Satuan percepatan menurut SI adalah meter persecond kuadrat ( $\text{m/s}^2$ ).

Dari pembahasan di atas kita ketahui bahwa jika lintasan gerak suatu benda diketahui maka dapat ditentukan kecepatan dan percepatannya dengan menggunakan Persamaan (1.36) dan (1.39). Sebaliknya, kita juga dapat menentukan kecepatan atau lintasan suatu benda jika diketahui percepatan atau kecepatannya, yaitu dengan cara mengintegrasikan percepatan atau kecepatan terhadap  $t$ .

$$v = \int a dt \quad (1.40)$$

$$s = \int v dt \quad (1.41)$$

### Contoh 1.10 :

Seorang pengendara mobil mengamati perubahan penunjukan kilometer pada speedometer terhadap waktu sebagai berikut :

Pk.	01.30	01.50	02.40	03.40	03.45	03.55	04.05
Km	120	140	150	200	200	205	215

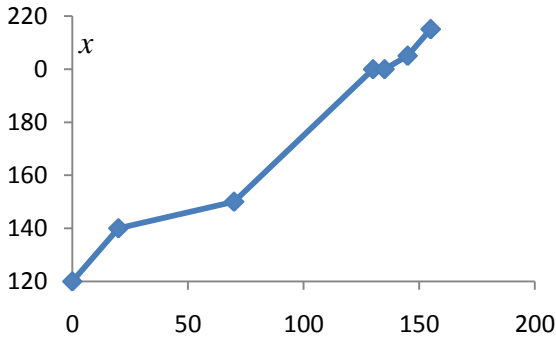
- Buatlah grafik jarak tempuh terhadap waktu dari data-data tersebut.
- Tentukan besarnya kecepatan rata-rata pada setiap subinterval waktu
- Apa yang terjadi pada pk. 03.42 ?
- Tentukan kecepatan rata-rata untuk seluruh selang waktu

**Penyelesaian :**

- a. Untuk lebih memudahkan menggambar grafiknya maka data waktu kita ubah dahulu, yaitu dari 'pk. Berapa' ke 'menit ke berapa' dengan mengambil pk 1.30 sebagai menit ke nol, dan kita dapatkan :

mnt	0	20	70	130	135	145	155
Km	120	140	150	200	200	205	215

Grafik  $x$  terhadap  $t$  adalah sebagai berikut :



**Gambar 1.26**  
Grafik perubahan gerak suatu benda.

- b. Untuk menghitung kecepatan rata-rata pada setiap subinterval kita buat tabel sebagai berikut:

$i$	$x_i$ (km)	$t$ (jam)	$\Delta x$ (km)	$\Delta t$ (jam)	$\bar{v} = \Delta x / \Delta t$ (km/jam)
1	120	1.30	-	-	-
2	140	1.50	20	1/3	60
3	150	2.40	10	5/6	12
4	200	3.40	50	1	50
5	200	3.45	0	1/12	0
6	205	3.55	5	1/6	30
7	215	4.05	10	1/6	60

- c. Dari grafik terlihat jarak tempuh mobil antara Pk. 03.40 sampai dengan Pk. 03.45 tetap, dan dari tabel terlihat pada interval tersebut kecepatan rata-ratanya nol, artinya mobil berhenti pada interval waktu tersebut. Jadi pada Pk.03.42 mobil berhenti.
- d. Selang waktu total  $\rightarrow \Delta t = 2 \text{ jam} + 35 \text{ menit} = 2 \frac{7}{12} \text{ jam}$

Jarak tempuh total  $\rightarrow \Delta x = 95 \text{ km}$

Kecepatan rata-rata total

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{95}{2 \frac{7}{12}} = 36,77 \text{ km/jam}$$

**Contoh 1.11 :**

Seseorang mengukur kecepatan suatu benda dalam selang waktu 10 s. Pada  $t = 0$  kecepatan benda 20 cm/s dan pada  $t = 10$  s kecepatan benda 100 cm/s. Berapa besar percepatan rata-rata benda dalam selang waktu tersebut?

**Penyelesaian:**

Dari soal diketahui,

$$t_1 = 0 \quad , \quad v_1 = 20 \text{ cm/s}$$

$$t_2 = 10 \text{ s} \quad , \quad v_2 = 100 \text{ cm/s}$$

Percepatan rata-rata,

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(100 - 20)}{(10 - 0)} \text{ cm/s}^2 = 8 \text{ cm/s}^2$$

**Contoh 1.12 :**

Seorang anak mampu mengayuh sepeda dengan percepatan rata-rata 12 m/menit<sup>2</sup>. Jika ia mula-mula diam, berapakah kecepatannya bersepeda setelah 10 menit?

**Penyelesaian :**

Dari soal diketahui,



$$t_1 = 0 \quad , \quad v_1 = 0$$

$$t_2 = 10 \text{ menit} \quad , \quad \bar{a} = 12 \text{ m/menit}^2$$

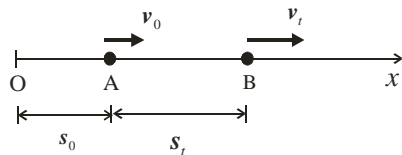
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

atau,

$$v_2 = v_1 + \bar{a} \cdot \Delta t = \{0 + (12)(10)\} \text{ m/menit} = 120 \text{ m/menit}$$

### C. Gerak Satu Dimensi

Gerak satu dimensi adalah gerak dengan lintasan berupa garis lurus. Karena itu gerak satu dimensi sering digambarkan sebagai gerak sepanjang sumbu koordinat, yaitu sumbu- $x$  atau sumbu- $y$ . Selanjutnya, gerak satu dimensi dikenal sebagai gerak lurus. Ditinjau dari percepatan-nya, gerak lurus dibedakan menjadi :



**Gambar 1.27.**  
Gerak lurus berubah beraturan

- 1) *Gerak lurus beraturan* (GLB), yaitu jika percepatannya nol ( $a = 0$ ).
- 2) *Gerak lurus berubah beraturan* (GLBB), yaitu jika percepatannya konstan ( $a = \text{konstan}$ ,  $a \neq 0$ ).
- 3) *Gerak lurus berubah tidak beraturan*, yaitu jika percepatannya tidak konstan, atau merupakan fungsi dari waktu ( $a = a(t)$ )

Gerak lurus berubah beraturan dicirikan dengan percepatan yang konstan. Dengan menggunakan Persamaan (1.40) dan (1.41) dapat diturunkan Persamaan-persamaan geraknya,

$$a = \text{konstan}$$

$$v_t = v_0 + at \tag{1.42}$$

dengan  $v_t$  menyatakan kecepatan pada saat  $t$ ,  $v_0$  adalah kecepatan awal, yaitu kecepatan pada saat  $t = 0$ , dan  $t$  adalah waktu tempuh. Dengan cara yang sama dapat juga kita turunkan persamaan untuk lintasan :

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1.43)$$

dengan  $s_t$  menyatakan lintasan gerak, atau jauh jalan yang ditempuh, pada saat  $t$  dan  $s_0$  adalah lintasan awal, yaitu lintasan benda pada saat  $t = 0$ . Pada umumnya jika di dalam soal-soal tidak disebutkan harga  $s_0$ , maka kita anggap  $s_0 = 0$ . Percepatan ( $a$ ) dapat berharga (+) atau (-). Jika  $a$  berharga (-) dikatakan gerak diperlambat, dan  $a$  disebut sebagai *perlambatan*.

Gerak lurus beraturan adalah keadaan khusus dari gerak lurus berubah beraturan, yaitu jika  $a = 0$ , sehingga kita dapatkan Persamaan geraknya,

$$v_t = v_0 = \text{konstan} \quad (1.44)$$

$$s_t = v_0 t \quad (1.45)$$

Jadi, gerak lurus beraturan adalah gerak dengan kecepatan yang selalu konstan.

### Contoh 1.13 :

Sebuah benda bergerak lurus dengan kecepatan awal 12 m/s dan dengan percepatan konstan 3 m/s<sup>2</sup>. Tentukan kecepatan dan lintasannya setelah bergerak selama 8 s.

### Penyelesaian :

Dari soal diketahui  $v_0 = 12$  m/s,  $a = 3$  m/s<sup>2</sup> dan karena tidak disebutkan maka  $s_0 = 0$ .

Untuk  $t = 8$  s, kita dapatkan,

$$v_t = v_0 + at = \{12 + (3)(8)\} \text{ m/s} = 36 \text{ m/s}$$

dan,

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \left\{0 + (12)(8) + \frac{1}{2}(3)(8^2)\right\} \text{ m} = 192 \text{ m}$$

**Contoh 1.14 :**

Sebuah mobil mula-mula bergerak dengan kecepatan konstan 60 km/jam. Kemudian mobil direm dan berhenti 20 s setelah direm. Tentukan besarnya perlambatan selama 20 s tersebut, dan tentukan pula setelah berapa jauh sejak direm mobil tersebut berhenti?

**Penyelesaian :**

Dari soal diketahui  $v_0 = 60 \text{ km/j}$ ,  $v_t = 0$ ,  $t = 20 \text{ s} = \frac{20}{3600} \text{ j} = \frac{1}{180} \text{ j}$ , dan  $s_0 = 0$ .

Untuk menentukan  $a$  kita menggunakan persamaan,

$$v_t = v_0 + at \Rightarrow a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 60}{\frac{1}{180}} = -1,08 \times 10^4 \text{ km/j}$$

Jarak berhentinya dihitung dengan persamaan,

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ = \left\{ 0 + (60) \left( \frac{1}{180} \right) - \frac{1}{2} (1,08 \times 10^4) \left( \frac{1}{180} \right)^2 \right\} \text{ km} = 0,1667 \text{ km} = 166,7 \text{ m}$$

**Contoh 1.15 :**

Sebuah benda mula-mula diam, kemudian bergerak lurus dipercepat selama 5 s dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ , kemudian bergerak lurus beraturan selama 5 s, dan akhirnya bergerak diperlambat selama 10 s lalu berhenti.

- Tentukan kecepatan benda pada  $t = 5 \text{ s}$
- Tentukan perlambatan benda antara  $t = 10 \text{ s}$  sampai dengan  $t = 20 \text{ s}$
- Buatlah grafik kecepatan terhadap waktu dari gerakan benda ini
- Tentukan jarak total yang ditempuh benda selama 20 s

**Penyelesaian:**

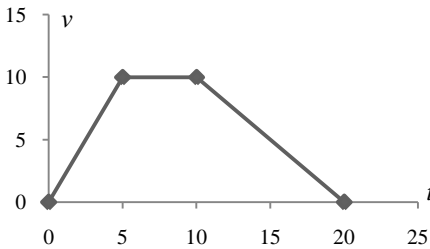
- Antara detik ke-0 s.d detik ke-5,  $a = 2 \text{ m/s}^2$ ,  $v_0 = 0$ , dan  $t = 5 \text{ s}$ , maka :

$$v_t = v_0 + at = \{0 + (2)(5)\} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$

- b. Antara detik ke-5 s.d. detik ke-10 kecepatannya konstan,  $v_t = 10$  m/s. Antara detik ke-10 s.d. detik ke-20, kecepatannya awalnya adalah  $v_0 = 10$  m/s, dan kecepatan akhirnya,  $v_t = 0$  dan  $t = (20 - 10)$  s = 10 s. Besarnya perlambatan  $a$  dapat ditentukan dari Persamaan,

$$v_t = v_0 + at \Rightarrow a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 10}{10} = -1 \text{ m/s}^2$$

- c. Grafik  $v$  terhadap  $t$  adalah sebagai berikut :



- d. Untuk interval waktu  $t = 5$  s - 0 s = 5 s,  $s_0 = 0$ ,  $v_0 = 0$ ,

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \left\{ 0 + (0)(5) + \frac{1}{2} (2)(5)^2 \right\} \text{ m} = 25 \text{ m}$$

Untuk interval waktu  $t = 10$  s - 5 s = 5 s,  $s_0 = 0$ ,  $v_0 = v_5 = 10$  m/s (dari penyelesaian soal di atas),

$$s_t = v_0 t = (10)(5) \text{ m} = 50 \text{ m}$$

Untuk interval waktu  $t = 20$  s - 10 s = 10 s,  $v_0 = v_{10} = 10$  m/s (dari penyelesaian soal 1.14.b di atas), dan  $a = -1$  m/s<sup>2</sup>,

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \left\{ 0 + (10)(10) + \frac{1}{2} (-1)(10)^2 \right\} \text{ m} = 50 \text{ m}$$

Jadi jarak total yang ditempuh benda,

$$s_{\text{total}} = 25 \text{ m} + 50 \text{ m} + 50 \text{ m} = 125 \text{ m}$$

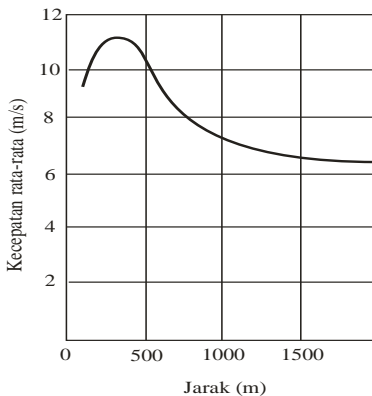
### D. Kecepatan Pelari

Jika kita amati kecepatan pelari pada berbagai nomor lomba, misalkan pada nomor 50 m, 100 m, 200 m, 400 m dan seterusnya, kita dapatkan bahwa kecepatan pelari ternyata tergantung pada jarak yang ditempuhnya. Kecepatan terbesar dimiliki oleh pelari-pelari jarak pendek, yaitu untuk nomor 100 m dan 200 m, dan kecepatan yang lebih kecil didapatkan untuk jarak di bawah 100 m dan di atas 200 m. Semakin jauh jarak yang ditempuh semakin kecil kecepatannya. Kecepatan pelari sebagai fungsi dari jarak yang ditempuh ditunjukkan oleh grafik  $\bar{v}$  terhadap  $s$  pada Gambar 1.29.



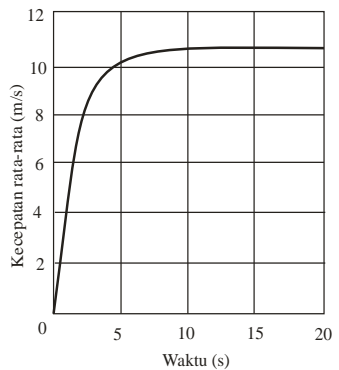
**Gambar 1.28.**

Beberapa sprinter dunia pada kejuaraan atletik.  
(Dari [www.empowered athlete.com](http://www.empoweredathlete.com))



**Gambar 1.29.**

Grafik  $\bar{v}$  terhadap  $s$  untuk pelari.



**Gambar 1.30.**

Grafik  $\bar{v}$  terhadap  $t$  untuk sprinter.

Berdasarkan penelitian, pada nomor-nomor sprinter, yaitu untuk jarak pendek, pelari bergerak dipercepat hanya pada dua detik pertama, setelah itu pelari bergerak lurus beraturan pada kecepatan puncaknya. Kecepatan rata-rata pada periode dua detik pertama ini besarnya kira-kira setengah kali

kecepatan puncaknya, dan kecepatan puncaknya rata-rata 10,5 m/s. Grafik  $\bar{v}$  terhadap  $t$  untuk pelari jarak pendek ditunjukkan oleh Gambar 1.30.

Kita ketahui bahwa pelari mempunyai energi yang terbatas. Kecepatan puncak hanya dapat dihasilkan oleh pelari-pelari jarak pendek. Pelari-pelari jarak jauh berlari dengan kecepatan yang lebih rendah agar tetap dapat bertahan dan dapat menyelesaikan lomba.

### Contoh 1.16 :

Misalkan seorang sprinter dapat memacu kecepatannya dari mula-mula diam sampai mencapai kecepatan puncaknya 10,2 m/s dalam waktu 1,8 s. Jika ia berlomba pada nomor 200 m, berapa lama ia menempuh jarak tersebut?

### Penyelesaian :

Dari soal diketahui selama 1,8 s pertama sprinter bergerak dipercepat dengan  $v_0 = 0$  dan  $v_t = 10,2$  m/s. Dalam selang waktu ini dapat dihitung besarnya percepatan,

$$v_t = v_0 + at \quad \Rightarrow \quad a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{10,2 - 0}{1,8} = 5,67 \text{ m/s}^2$$

dan jarak yang ditempuh dalam selang waktu ini adalah,

$$s_t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \left\{ 0 + \frac{1}{2} (5,67)(1,8)^2 \right\} \text{ m} \approx 9,19 \text{ m}$$

Pada sisa jarak yang harus ditempuhnya, yaitu  $s'_t = 200 - s_t = 190,81$  m, pelari bergerak lurus beraturan dengan kecepatan konstan  $v'_0 = v_t = 10,2$  m/s, sehingga dapat kita tuliskan persamaan,

$$s'_t = v'_0 t' \quad \Rightarrow \quad t' = \frac{s'_t}{v'_0} = \left( \frac{190,81}{10,2} \right) \text{ s} = 18,71 \text{ s}$$

dengan  $t'$  menyatakan waktu yang diperlukan untuk menempuh sisa jarak tersebut.

Jadi, total waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak 200 m adalah :

$$t = (1,8 + 18,71) \text{ s} = 20,51 \text{ s}$$

### E. Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak lurus vertikal ke bawah tanpa kecepatan awal karena pengaruh percepatan gravitasi bumi ( $g$ ). Arah  $g$  adalah vertikal ke bawah (menuju ke pusat bumi) dan besarnya kira-kira ,  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , dan di dalam soal-soal sering dibulatkan menjadi  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Persamaan gerak jatuh analog dengan persamaan gerak lurus berubah beraturan tanpa kecepatan awal, dan dapat kita tuliskan sebagai,

$$v_t = gt \tag{1.46}$$

$$y_t = \frac{1}{2}gt^2 \tag{1.47}$$

$$h_t = h_0 - y_t = h_0 - \frac{1}{2}gt^2 \tag{1.48}$$

dengan  $v_t$  adalah kecepatan benda pada waktu  $t$ ,  $y_t$  adalah jarak vertikal yang ditempuh benda dalam waktu  $t$ ,  $h_0$  adalah ketinggian awal benda dan  $h_t$  adalah ketinggian benda pada waktu  $t$ .

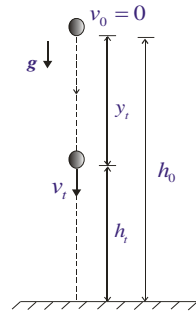
Kebalikan dari gerak jatuh adalah gerak naik vertikal. Pada gerakan ini  $g$  merupakan perlambatan karena arahnya berlawanan dengan arah gerak. Untuk gerak naik vertikal persamaan geraknya dapat dinyatakan dengan,

$$v_t = v_0 - gt \tag{1.49}$$

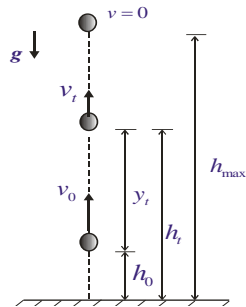
$$y_t = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{1.50}$$

$$h_t = h_0 + y_t = h_0 + v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{1.51}$$

dengan  $h_{\max}$  adalah ketinggian maksimum yang dicapai benda.



**Gambar 1.31.**  
Gerak jatuh bebas



**Gambar 1.32.**  
Gerak naik vertikal.

**Contoh 1.17 :**

Sebuah benda dijatuhkan bebas dari ketinggian 19,6 m.

- Tentukan waktu yang dibutuhkan untuk sampai di tanah
- Tentukan kecepatannya sesaat sampai di tanah

**Penyelesaian :**

a. Pada saat mencapai tanah jarak vertikalnya adalah  $h_t = 0$ .

Dari persamaan (1.48) kita dapatkan

$$0 = h_0 - \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

Dari soal diketahui  $h_0 = 19,6$  m dan  $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup> sehingga kita dapatkan :

$$t = \sqrt{\frac{2(19,6)}{9,8}} \text{ s} = 2 \text{ s}$$

- Kecepatan saat mencapai tanah dapat kita tentukan dengan menggunakan persamaan (1.46) :

$$v_t = gt = (9,8)(2) \text{ m/s} = 19,6 \text{ m/s}$$

**Contoh 1.18 :**

Sebuah benda dilontarkan ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 49 m/s.

- Tentukan waktu yang diperlukan untuk mencapai ketinggian maksimum
- Tentukan ketinggian maksimumnya.

**Penyelesaian :**

a. Mencapai ketinggian maksimum,  $v_t = 0$ . Untuk gerak naik vertikal,

$$0 = v_0 - gt \Rightarrow t = \frac{v_0}{g}$$



Dari soal diketahui  $v_0 = 49 \text{ m/s}$  dan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  sehingga kita dapatkan,

$$t = \frac{49}{9,8} \text{ s} = 5 \text{ s}$$

- b. Ketinggian maksimum dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1.51),

$$h_t = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

Dengan  $h_t = h_{\max}$  dan  $h_0 = 0$  kita dapatkan,

$$h_{\max} = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 = \left\{ 0 + (49)(5) - \frac{1}{2}(9,8)(5)^2 \right\} \text{ m} = 122,5 \text{ m}$$

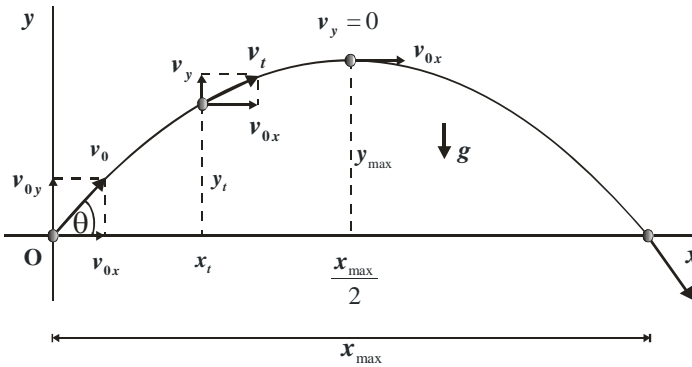
## F. Gerak Dua Dimensi

Gerak dua dimensi adalah gerak pada bidang datar. Pada pembahasan ini kita akan mempelajari dua macam gerak pada bidang, yaitu gerak peluru dan gerak melingkar. Gerak peluru adalah gerak dengan lintasan seperti lintasan peluru, yaitu gerak lengkung pada bidang vertikal, seperti lintasan peluru meriam. Gerak melingkar adalah gerak dengan lintasan berupa lingkaran. Berikut ini akan kita pelajari satu persatu dari kedua macam gerak dua dimensi tersebut.

### 1. Gerak Peluru

Jika kita melemparkan sebuah bola ke atas dengan sudut elevasi (sudut kemiringan terhadap horizontal) tertentu maka akan kita lihat bola bergerak dengan lintasan yang lengkung sampai jatuh di tanah. Bentuk lintasan ini dikenal sebagai *lintasan peluru* karena menyerupai lintasan peluru yang ditembakkan dari sebuah meriam.

Gerak peluru dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi ( $g$ ) yang arahnya vertikal ke bawah. Karena pengaruh percepatan gravitasi bumi ini lintasan benda menjadi melengkung, dan untuk ketinggian benda yang tidak terlalu jauh dari permukaan bumi, dimana  $g$  dianggap konstan, dapat dibuktikan bahwa lintasan peluru berbentuk *parabola*.



Gambar 1.33.  
Gerak Peluru

Gerak peluru pada umumnya dideskripsikan pada sistem koordinat dua dimensi, dengan sumbu- $x$  dan  $y$  sebagai sumbu-sumbu koordinatnya. Pada sistem koordinat ini gerak benda dapat diuraikan ke dalam komponen geraknya pada arah  $x$  dan  $y$ . Komponen gerak pada arah  $x$  merupakan gerak lurus beraturan (kecepatan konstan), dan komponen gerak pada arah  $y$  merupakan gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan / perlambatan  $g$ .

Untuk mendeskripsikan gerak peluru, marilah kita bayangkan sebuah peluru ditembakkan dari suatu tempat (di permukaan tanah) dengan kecepatan awal  $v_0$  dan sudut elevasi (sudut kemiringan)  $\theta$ . Tempat peluru ditembakkan kita anggap sebagai pusat koordinat. Gambar 1.31 merepresentasikan gerak peluru secara grafis. Komponen kecepatan gerak peluru setiap saat dapat kita nyatakan dengan  $v_x$  dan  $v_y$  sedangkan komponen kecepatan awalnya kita nyatakan dengan  $v_{0x}$  dan  $v_{0y}$ . Posisi benda setiap saat kita nyatakan dengan  $(x,y)$ . Secara vektoris kecepatan awal dan kecepatan pada saat  $t$  dapat dituliskan sebagai,

$$\mathbf{v}_0 = v_{0x}\mathbf{i} + v_{0y}\mathbf{j} \quad (1.52)$$

$$\mathbf{v}_t = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \quad (1.53)$$

dengan,

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta \quad (1.54)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta \quad (1.55)$$

Komponen gerak pada arah sumbu- $x$  merupakan gerak lurus beraturan, dimana untuk waktu  $t$  tertentu dapat dituliskan persamaan-persamaan geraknya,

$$v_x = v_{0x} \quad (1.56)$$

$$x_t = v_{0x} t \quad (1.57)$$

Komponen gerak pada arah sumbu- $y$  merupakan gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan adalah percepatan gravitasi bumi ( $g$ ). Untuk waktu  $t$  tertentu persamaan geraknya adalah :

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (1.58)$$

$$y = v_{0y} t - \frac{1}{2} gt^2 \quad (1.59)$$

Ada dua keadaan yang menarik untuk dipelajari pada gerak peluru ini. Pertama adalah keadaan pada saat peluru mencapai ketinggian maksimum, dan yang kedua saat peluru jatuh di tanah, atau peluru mencapai jarak horizontal maksimum, karena keduanya berhubungan dengan kecepatan awal ( $v_0$ ) dan sudut kemiringan ( $\theta$ ) pada saat peluru pertama kali ditembakkan.

### 1.1. Peluru Mencapai Ketinggian Maksimum

Pada saat peluru mencapai ketinggian maksimum kecepatan arah vertikalnya  $v_y = 0$ . Jika  $t_m$  menyatakan waktu untuk mencapai ketinggian maksimum, maka dari Persamaan (1.58) dapat kita tuliskan,

$$t_m = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \quad (1.60)$$

dan jika  $y_m$  menyatakan ketinggian maksimum, maka dari Persamaan (1.59) kita dapatkan,

$$y_m = \frac{v_{0y}^2}{2g} \quad (1.61)$$

## 1.2. Peluru Jatuh di Tanah

Waktu yang dibutuhkan peluru sejak mulai ditembakkan sampai jatuh kembali di tanah sama dengan waktu yang dibutuhkan oleh komponen gerak vertikalnya untuk bergerak naik - turun. Jika  $t_b$  menyatakan waktu yang dibutuhkan peluru untuk kembali ke tanah, maka dapat dibuktikan bahwa :

$$t_b = 2t_m = \frac{2v_{oy}}{g} = \frac{2v_o \sin \theta}{g} \quad (1.62)$$

Selanjutnya, dengan mensubstitusikan Persamaan (1.62) ke dalam Persamaan (1.57) dan dengan manipulasi trigonometri kita dapatkan jarak maksimum yang dicapai peluru,

$$x_m = \frac{v_o^2 \sin 2\theta}{g} \quad (1.63)$$

### Contoh 1.19 :

Sebuah peluru ditembakkan dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 100 m/s dan sudut elevasi  $30^\circ$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- Kecepatan vertikal dan horisontal pada 4 detik pertama
- Ketinggian peluru pada 4 detik pertama
- Waktu untuk mencapai ketinggian maksimum
- Ketinggian maksimum
- Jarak maksimum sampai jatuh di tanah

### Penyelesaian:

Dari soal diketahui,

$$v_0 = 100 \text{ m/s}$$

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = (100)(\cos 30^\circ) \text{ m/s} = 86,6 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = (100)(\sin 30^\circ) \text{ m/s} = 50 \text{ m/s}$$

- a. Kecepatan vertikal dan horisontal pada  $t = 4$  s

$$v_x = v_{0x} = 86,6 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_{0y} - gt = 50 - (10)(4) \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$

- b. Ketinggian peluru pada  $t = 4$  s

$$\begin{aligned} y &= v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\ &= (50)(4) - \frac{1}{2}(10)(4^2) \text{ m} \\ &= 120 \text{ m} \end{aligned}$$

- c. Waktu mencapai ketinggian maksimum

$$t_m = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{50}{10} \text{ s} = 5 \text{ s}$$

- d. Ketinggian maksimum

$$y_m = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{50^2}{(2)(10)} \text{ m} = 125 \text{ m}$$

- e. Jarak maksimum lontaran peluru,

$$x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{(100^2)(\sin 60^\circ)}{10} \text{ m} = 866 \text{ m}$$

**Contoh 1.20 :**

Sebuah bola dilemparkan ke atas dengan sudut kemiringan  $45^\circ$  dan mencapai ketinggian maksimum dalam waktu 1 s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  tentukanlah :

- Kecepatan awal bola
- Ketinggian maksimum bola

**Penyelesaian :**

- Mencapai ketinggian maksimum,

$$t_m = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \Rightarrow v_0 = \frac{gt_m}{\sin \theta} = \frac{(10)(1)}{\sin 45^\circ} \text{ m/s} = 14,1 \text{ m/s}$$

b. Ketinggian maksimum,

$$y_m = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} = \frac{(14,1)^2 (\sin 45^\circ)^2}{(2)(10)} \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

### 1.3. Lompat Jauh

Seberapa jauh seseorang dapat melakukan lompat jauh dengan awalan lari dapat kita perkirakan dengan menggunakan teori gerak peluru. Kita misalkan gerak pelompat sebagai gerak pusat massanya (yaitu suatu titik yang dianggap merepresentasikan seluruh massa pelompat) yang bergerak peluru. Kecepatan awalan pelompat kita misalkan sama dengan kecepatan puncak seorang pelari, yang sudah kita bahas sebelumnya, yaitu 10,5 m/s.

Berdasarkan penelitian, daya melambungkan maksimum seorang atlet adalah sekitar 0,6 m, sehingga dapat kita tentukan komponen kecepatan awal arah vertikal ( $v_{0y}$ ) dengan menggunakan persamaan (1.61).

$$y_m = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

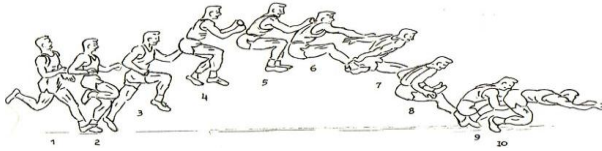
atau,

$$v_{0y} = \sqrt{2gy_m} = \sqrt{(2)(9,8)(0,6)} \text{ m} \approx 3,43 \text{ m}$$



**Gambar 1.35.**

Gerakan seorang pelompat jauh.  
(Dari [www.grandmall10.wordpress.com](http://www.grandmall10.wordpress.com))



**Gambar 1.35.**  
Gerakan seorang pelompat jauh.  
(Gambar diambil dari [www.grandmall10.wordpress.com](http://www.grandmall10.wordpress.com))

Dengan metode penjumlahan vektor dapat ditentukan besarnya kecepatan awal ( $v_0$ ),

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2} = \sqrt{(10,5)^2 + (3,43)^2} \text{ m/s} \approx 11,05 \text{ m/s}$$

dan juga dapat ditentukan besarnya sudut kemiringan  $\theta$  dari persamaan,

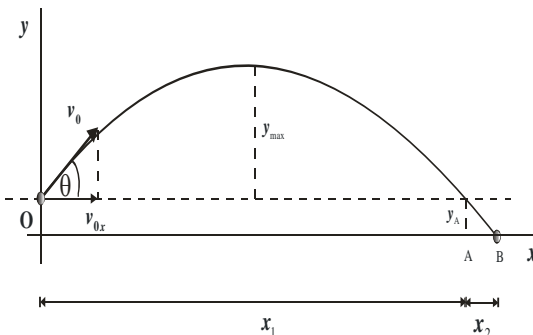
$$v_{0,y} = v_0 \sin \theta$$

atau,

$$\sin \theta = \frac{v_{0,y}}{v_0} = \frac{3,43}{11,05} \approx 0,31$$

$$\theta = \sin^{-1}(0,31) \approx 18,06^\circ$$

Besarnya sudut kemiringan  $\theta$  di atas adalah prediksi teoritis. Dalam kenyataannya, misalkan dalam suatu kompetisi, harga  $\theta$  pada umumnya lebih besar dibandingkan dengan prediksi teoritis.



**Gambar 1.36.**  
Gerakan pusat massa pelompat jauh.

Jika kita perhatikan gerak pelompat jauh, pada saat awal melompat ia dalam posisi jongkok. Gambar 1.36 menggambarkan gerak titik pusat massa dari seorang pelompat jauh. Dalam keadaan tegak pusat massa ini letaknya kira-kira 0,6 m di atas tanah, dan dalam posisi jongkok posisi pusat dianggap sama dengan permukaan tanah. Dari gambar 1.36 kita dapat menentukan jarak lompatan, yaitu  $x = x_1 + x_2$ . Pertama-tama kita tinjau komponen gerak horisontal OA dan AB. Pada gerakan OA, dimana posisi awal dan akhir adalah dalam posisi horisontal, maka jarak  $OA = x_1$  dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1.63).

$$x_1 = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{(11,05)^2 \sin 36,12^\circ}{9,8} \approx 7,34 \text{ m}$$

Selanjutnya, dapat dibuktikan bahwa  $v_A = v_0$  hanya arahnya yang berbeda, dimana vektor kecepatan membentuk sudut sebesar  $341,94^\circ$  terhadap horisontal. Untuk menentukan besarnya jarak tempuh  $AB = x_2$ , terlebih dahulu kita tentukan waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak  $x_2$ . Waktu ini sama dengan waktu yang diperlukan untuk gerak jatuh vertikal dari ketinggian  $y_A = 0,6 \text{ m}$  dengan kecepatan awal  $v_{Ay} = 3,43 \text{ m/s}$ ,

$$y_A = v_{Ay}t + \frac{1}{2}gt^2$$

atau,

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}gt^2 + v_{Ay}t - y_A &= 0 \\ 4,9t^2 + 3,43t - 0,6 &= 0 \end{aligned}$$

Kita dapatkan Persamaan kuadrat dalam  $t$ , dan salah satu penyelesaiannya adalah  $t \approx 0,14 \text{ s}$ . Selanjutnya, jarak  $x_2$  dapat kita tentukan dengan menggunakan Persamaan,

$$x_2 = v_{Ax}t$$

Karena kecepatan pada arah horisontal tidak berubah,  $v_{Ax} = v_{0x} = 10,5 \text{ m/s}$  dan kita dapatkan,



$$x_2 = (10,5)(0,14) \text{ m} = 1,47 \text{ m}$$

Jadi, jarak total lompatan,

$$x = x_1 + x_2 = (7,34 + 1,47) \text{ m} = 8,81 \text{ m}$$

Jarak lompatan ini adalah jarak rata-rata yang didapatkan dari prediksi teoritis.

## 2. Gerak Melingkar

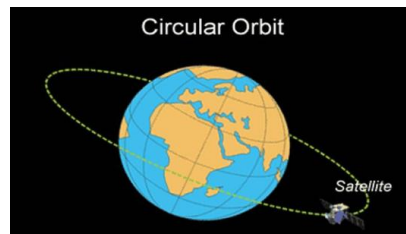
Gerak melingkar adalah gerak pada bidang datar dengan lintasan berbentuk lingkaran. Pada gerak melingkar lintasan yang ditempuh untuk interval waktu tertentu merupakan busur lingkaran.

Dalam interval waktu tersebut kita juga dapat mengukur sudut yang ditempuh oleh gerakan benda, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.38.

Hubungan antara busur yang ditempuh ( $s$ ) dan sudut yang ditempuh ( $\theta$ ) dalam waktu yang sama ( $\Delta t$ ) dinyatakan dengan persamaan :

$$\theta = \frac{s}{R} \tag{1.64}$$

dengan  $R$  adalah jejari lingkaran. Sudut  $\theta$  biasanya dinyatakan dalam satuan *radian (rad)*, dimana  $\theta = 360^\circ / 2\pi$  dengan  $\pi \approx 3,14$ . Dari besaran  $\theta$  kemudian dapat diturunkan besaran-besaran lain seperti kecepatan angular ( $\omega$ ) dan percepatan angular ( $\alpha$ ).



**Gambar 1.37.**  
Gerak orbit melingkar dari satelit.  
(Dari [www.aerospaceweb.org](http://www.aerospaceweb.org))

## 2.1. Kecepatan dan Percepatan Angular

Benda yang bergerak melingkar mempunyai kecepatan angular (kecepatan sudut,  $\omega$ ) yang didefinisikan sebagai besarnya sudut yang ditempuh persatuan waktu,

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (1.65)$$

dengan satuan  $\omega$  adalah radian perdetik (rad/s).

Selain kecepatan angular, benda yang bergerak melingkar juga mempunyai percepatan angular ( $\alpha$ ), yang didefinisikan sebagai perubahan kecepatan angular persatuan waktu :

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.66)$$

dengan satuan  $\alpha$  adalah  $\text{rad/s}^2$ . Untuk  $\alpha$  konstan, hubungan antara  $\alpha$ ,  $\omega$  dan  $\theta$  pada gerak melingkar dinyatakan dengan persamaan-persamaan :

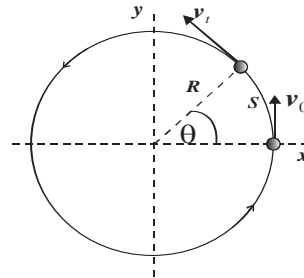
$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t \quad (1.67)$$

$$\theta_t = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (1.68)$$

dengan  $\omega_0$  adalah kecepatan angular awal,  $t$  adalah waktu tempuh,  $\omega_t$  adalah besarnya kecepatan angular pada saat  $t$ , dan  $\theta_t$  adalah sudut yang ditempuh setelah waktu  $t$ .

### Contoh 1.21 :

Sebuah benda, yang mula-mula diam, bergerak melingkar dengan percepatan angular yang konstan  $\alpha = 0,5 \text{ rad/s}^2$ . Tentukan besarnya kecepatan angular



**Gambar 1.38.**  
Gerak melingkar

dan sudut yang ditempuh setelah bergerak selama 2 s, jika jejari lingkarannya 1 m.

**Penyelesaian :**

Dari soal diketahui  $\alpha = 0,5 \text{ rad/s}^2$ , kecepatan angular awal  $\omega_0 = 0$ ,  $R = 1 \text{ m}$  dan  $t = 2 \text{ s}$ .

Kecepatan angular dan sudut yang ditempuh dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1.67) dan (1.68),

$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t = 0 + (0,5)(2) \text{ rad/s} = 1 \text{ rad/s}$$

$$\theta_t = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2} (0,5)(2^2) \text{ rad} = 1 \text{ rad}$$

**Contoh 1.22 :**

Sebuah benda bergerak melingkar dengan percepatan angular  $2 \text{ rad/s}^2$ . Setelah 1 s kecepatan angular benda besarnya  $3 \text{ rad/s}$ .

- a. Tentukan kecepatan angular awal benda.
- b. Tentukan sudut yang ditempuh setelah 1 s.

**Penyelesaian :**

- a. Untuk menentukan kecepatan angular awal kita pergunakan Persamaan (1.67)

$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t \Rightarrow \omega_0 = \omega_t - \alpha t = 3 - (2)(1) \text{ rad/s} = 1 \text{ rad/s}$$

- b. Untuk menentukan sudut yang ditempuh kita pergunakan Persamaan (1.68),

$$\theta_t = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 = (1)(1) + \frac{1}{2} (2)(1^2) \text{ rad} = 2 \text{ rad}$$

## 2.2. Gerak Melingkar Beraturan

Sifat gerak melingkar ditentukan oleh percepatan angularnya. Jika  $\alpha$  konstan maka  $\omega$  berubah terhadap waktu (fungsi waktu), dan geraknya disebut *gerak melingkar berubah beraturan*. Jika  $\alpha = 0$ , maka  $\omega$  konstan, maka geraknya disebut *gerak melingkar beraturan*. Pada pembahasan

berikutnya kita lebih banyak terfokus pada gerak melingkar beraturan, yang mempunyai persamaan gerak sebagai berikut :

$$\omega = \text{konstan} \quad (1.69)$$

$$\theta_t = \omega t \quad (1.70)$$

Pada gerak melingkar beraturan, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu kali putaran selalu konstan dan disebut perioda ( $T$ ). Kita ketahui sudut yang ditempuh untuk satu putaran adalah  $2\pi$  rad. Jika benda bergerak melingkar beraturan dengan kecepatan angular  $\omega$  maka untuk satu putaran berlaku :

$$2\pi = \omega T$$

atau,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1.71)$$

Persamaan (1.71) menunjukkan hubungan antara perioda dan kecepatan angular.

Benda yang bergerak melingkar mempunyai *kecepatan linear* ( $v$ ) yang arahnya setiap saat menyinggung lintasan (busur lingkaran). Untuk gerak melingkar beraturan besarnya kecepatan linear selalu konstan, hanya arahnya yang setiap saat berubah. Hubungan antara lintasan dan kecepatan dapat dinyatakan dengan,

$$s = vt$$

dan untuk gerak satu putaran  $s = 2\pi R$  dan  $t = T = \frac{2\pi}{\omega}$  sehingga kita dapatkan hubungan,

$$2\pi r = v \frac{2\pi}{\omega}$$

atau,

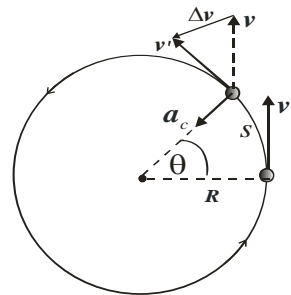
$$v = \omega R \tag{1.72}$$

yang menyatakan hubungan antara kecepatan linear dengan kecepatan angular.

### 2.3. Percepatan Centripetal

Pada gerak peluru, percepatan gravitasi bumi yang mempengaruhi gerak benda arahnya selalu vertikal ke bawah, atau tegak lurus pada arah kecepatan horisontal, sehingga membentuk lintasan yang melengkung (parabola). Gerak melingkar juga dipengaruhi oleh percepatan yang arahnya selalu tegak lurus pada kecepatan linearnya, atau arahnya selalu menuju ke pusat lingkaran. Percepatan ini dikenal sebagai *percepatan centripetal* ( $a_c$ ).

Arah percepatan ini berarti berlawanan dengan arah radial (arah jari-jari). Pada gerak melingkar beraturan, percepatan centripetal dihasilkan dari adanya perubahan vektor kecepatan linear. Kita ketahui bahwa besar kecepatan tidak berubah, hanya arahnya yang berubah. Perubahan vektor ini digambarkan seperti pada Gambar 1.39. Percepatan centripetal didefinisikan sebagai,



**Gambar 1.39.**

Perubahan arah kecepatan linear menyebabkan timbulnya percepatan centripetal.

$$a_c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{1.73}$$

Dapat dibuktikan bahwa besarnya percepatan centripetal dapat dituliskan sebagai,

$$a_c = \frac{v^2}{R} \tag{1.74}$$

Jika kita substitusikan harga  $v$  seperti pada persamaan (1.72), maka percepatan centripetal juga dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$a_c = \omega^2 r \tag{1.75}$$

**Contoh 1.23 :**

Sebuah benda dapat melakukan dua putaran setiap sepuluh detik. Tentukanlah :

- Perioda gerak melingkarnya.
- Kecepatan angularnya.
- Kecepatan linearnya.
- Percepatan centripetalnya.

**Penyelesaian :**

- a. Jika benda dapat melakukan dua putaran per-10 detik maka periodanya,

$$T = \frac{10}{2} = 5 \text{ s}$$

- b. Kecepatan angular dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1.71),

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

atau,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{5} \text{ rad/s} = 1,26 \text{ rad/s}$$

- c. Kecepatan linear dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1.72),

$$v = \omega R = \left(\frac{2\pi}{5}\right)(2) \text{ m/s} = 2,52 \text{ m/s}$$

- d. Percepatan centripetal kita tentukan dengan menggunakan persamaan (1.74),

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{(2,52)^2}{2} \text{ m/s}^2 = 3,18 \text{ m/s}^2$$

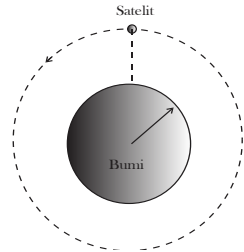
**Contoh 1.24 :**

Sebuah satelit mengorbit bumi dengan lintasan berbentuk lingkaran pada ketinggian  $1,6 \times 10^5$  m dari muka bumi. Jika jejari bumi  $R = 6,4 \times 10^6$  m, dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapa kali satelit tersebut mengorbit bumi dalam sehari ?

**Penyelesaian :**

Misalkan ketinggian satelit kita nyatakan dengan  $h$ , berarti jejari orbitnya diukur dari pusat bumi adalah,

$$r = R + h = 6,4 \times 10^6 \text{ m} + 1,6 \times 10^5 \text{ m} \\ = 6,56 \times 10^6 \text{ m}$$



**Gambar 1.40.**  
Satelit mengorbit Bumi.

Pada waktu mempelajari gerak peluru, percepatan gravitasi kita anggap arahnya vertikal ke bawah. Sebenarnya ini adalah suatu pendekatan. Arah percepatan gravitasi bumi sebenarnya adalah menuju ke pusat bumi, tetapi untuk ketinggian yang rendah dari permukaan bumi arah percepatan gravitasi bumi dianggap vertikal ke bawah. Untuk gerak satelit dimana ketinggiannya mencapai 160 km di atas permukaan bumi, arah percepatan gravitasi bumi harus dipandang menuju ke pusat bumi, dan percepatan ini menjadi percepatan centripetal untuk gerak melingkar satelit. Jadi, kita dapatkan hubungan :

$$g = a_c = \omega^2 r$$

atau,

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r}}$$

dan periode satelit adalah,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{g/r}} = \frac{2\pi}{\sqrt{10/(6,56 \times 10^6)}} = 5,1 \times 10^3 \text{ s} = 84,8 \text{ menit}$$

Jadi, untuk sekali mengorbit bumi satelit membutuhkan waktu 84,8 menit, atau dalam sehari satelit dapat mengorbit sebanyak sekitar 17 kali.



## LATIHAN 2

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebuah benda mula-mula bergerak lurus beraturan dengan kecepatan 12 m/s, kemudian dipercepat dengan percepatan  $3 \text{ m/s}^2$  selama 8 s. Berapa besar kecepatan akhirnya? dan berapa jauh jalan yang ditempuh benda selama bergerak dipercepat?
- 2) Seorang penerjun payung mulai membuka payung pada saat kecepatannya 100 km/jam, dan dua detik kemudian kecepatannya turun menjadi 30 km/jam. Selanjutnya, ia bergerak turun dengan kecepatan konstan. Berapa besar perlambatan yang dialaminya selama dua detik tersebut.
- 3) Sebuah peluru ditembakkan dengan kecepatan awal  $v_0$  dan sudut kemiringan  $\theta$  dari permukaan tanah. Jika jarak horisontal maksimum empat kali ketinggian maksimumnya, berapa besarnya  $\theta$ ?
- 4) Seorang anak yang sedang bermain di pantai melemparkan sebuah batu dengan arah horisontal dari atas sebuah batu karang. Jika batu dilontarkan dengan kecepatan 20 m/s dan empat detik sejak dilemparkan batu menyentuh permukaan air laut, berapa ketinggian anak dari permukaan laut?
- 5) Berapa besar kecepatan angular bumi mengorbit matahari?
- 6) Berapa besar kecepatan angular ujung jarum jam yang penunjuk detik?



- 7) Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan mendapat percepatan centripetal  $10 \text{ m/s}^2$ . Jika jejari lingkaran  $5 \text{ m}$ , tentukan besarnya kecepatan linear, kecepatan angular, dan periodanya.

*Petunjuk Penyelesaian Latihan*

- 1) Karena mula-mula bergerak lurus beraturan maka  $v_0 = 12 \text{ m/s}$ . Kemudian diketahui  $a = 3 \text{ m/s}^2$  dan  $t = 8 \text{ s}$ . Kecepatan akhir dan jauh jalan yang ditempuh dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$v_t = v_0 + at$$

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

- 2) Penggunaan persamaan :

$$v_t = v_0 + at \quad \Rightarrow \quad a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

- 3) Dari soal diketahui,

$$x_m = 4 y_m$$

dengan,

$$x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad \text{dan} \quad y_m = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

maka  $\theta$  dapat dicari.

- 4)  $y_t = y_0 - \left( v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \right)$

Jatuh di permukaan laut  $\rightarrow y_t = 0$ .

dengan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  maka  $y_0$  dapat dicari.

- 5) Periode bumi mengelilingi matahari adalah  $T = 1 \text{ tahun} \approx 365,25 \text{ hari}$ .

Kecepatan angular  $\rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$  (nyatakan dalam SI)

6) Jarum detik mempunyai periode,  $T = 60$  s.

Kecepatan angular  $\rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$

7) Percepatan centripetal,

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

dengan  $R = 5$  m dapat ditentukan  $v$  dan  $\omega$ .  
 Periode dicari dengan cara seperti soal No.2.6.



## RANGKUMAN

Kecepatan dan percepatan adalah besaran-besaran yang menggambarkan sifat kuantitatif dari gerak benda. Kecepatan didefinisikan sebagai perubahan posisi/jarak persatuan waktu, sedangkan percepatan didefinisikan sebagai perubahan kecepatan persatuan waktu.

Gerak satu dimensi dengan percepatan konstan dinyatakan dalam persamaan gerak,

$$v_t = v_0 + at$$

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Gerak jatuh adalah gerak lurus pada arah vertikal karena pengaruh percepatan gravitasi bumi ( $g$ ) dengan persamaan gerak :

$$v_t = v_0 + gt$$

$$y_t = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$$

Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh dengan  $v_0 = 0$ . Gerak peluru dan gerak melingkar adalah contoh dari gerak dua dimensi. Gerak peluru dinyatakan dengan persamaan gerak :

$$\begin{aligned}
 v_{0x} &= v_0 \cos \theta & v_{0y} &= v_0 \sin \theta \\
 v_x &= v_{0x} & v_y &= v_{0y} - gt \\
 x &= v_{0x}t & y &= y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2
 \end{aligned}$$

dengan  $\theta$  adalah sudut elevasi.

Ketinggian maksimum peluru dinyatakan dengan persamaan :

$$y_m = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

dan jarak horizontal maksimum yang dicapai peluru dinyatakan dengan persamaan :

$$x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

Gerak melingkar dinyatakan dengan persamaan gerak :

$$\begin{aligned}
 \theta &= \text{konstan} \\
 \omega &= \omega_0 + \alpha t \\
 \theta &= \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2
 \end{aligned}$$

Gerak melingkar beraturan adalah gerak melingkar dengan  $\omega$  konstan.

Periode gerak melingkar beraturan dinyatakan dengan :

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

sedangkan percepatan centripetalnya dinyatakan dengan Persamaan,

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$


**TES FORMATIF 2**


---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Sebuah benda bergerak dengan persamaan gerak  $s_t = 2t^2 + 3t + 10$ ,  $s_t$  dinyatakan dalam meter (m). Besarnya percepatan benda ( $a$ ) adalah ...
  - A.  $2 \text{ m/s}^2$
  - B.  $3 \text{ m/s}^2$
  - C.  $4 \text{ m/s}^2$
  - D.  $10 \text{ m/s}^2$
  
- 2) Dari soal No.1, besarnya kecepatan awal benda ( $v_0$ ) adalah ...
  - A.  $2 \text{ m/s}$
  - B.  $3 \text{ m/s}$
  - C.  $4 \text{ m/s}$
  - D.  $10 \text{ m/s}$
  
- 3) Dari soal No.1, besarnya kecepatan benda pada  $t = 2 \text{ s}$  adalah ...
  - A.  $2 \text{ m/s}$
  - B.  $3 \text{ m/s}$
  - C.  $5 \text{ m/s}$
  - D.  $7 \text{ m/s}$
  
- 4) Sebuah benda yang mula-mula diam kemudian bergerak lurus dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ . Kecepatan benda setelah 5 detik adalah ...
  - A.  $5 \text{ m/s}$
  - B.  $10 \text{ m/s}$
  - C.  $25 \text{ m/s}$
  - D.  $50 \text{ m/s}$
  
- 5) Dari soal No.4, jauh jalan yang ditempuh setelah 5 s adalah ...
  - A.  $5 \text{ m}$
  - B.  $10 \text{ m}$
  - C.  $25 \text{ m}$
  - D.  $50 \text{ m}$
  
- 6) Sebuah benda dijatuhkan bebas dari ketinggian 100 m. Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tanah adalah ...
  - A.  $4,51 \text{ s}$
  - B.  $5,70 \text{ s}$
  - C.  $11,3 \text{ s}$
  - D.  $15,6 \text{ s}$
  
- 7) Dalam kejuaraan atletik pada nomor 200 m. Seorang pelari dapat mempercepat larinya pada 2 detik pertama. Selanjutnya, ia berlari dengan kecepatan konstan  $10,5 \text{ m/s}$  sampai garis finish. Besarnya percepatan pelari pada 2 detik pertama adalah ...
  - A.  $1,6 \text{ m/s}^2$
  - B.  $2,6 \text{ m/s}^2$
  - C.  $3,2 \text{ m/s}^2$
  - D.  $5,3 \text{ m/s}^2$

- 8) Sebuah peluru ditembakkan dengan kecepatan awal 100 m/s dari permukaan tanah. Peluru jatuh kembali di tanah pada jarak horizontal 500 m dari tempat semula. Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , maka besarnya sudut elevasi . . .
- A.  $14,7^\circ$                       C.  $44^\circ$   
 B.  $29,3^\circ$                       D.  $58,7^\circ$
- 9) Sebuah peluru ditembakkan dengan sudut elevasi  $45^\circ$  dan kecepatan awal 50 m/s. Ketinggian maksimum peluru adalah . . .
- A. 31,9 m                      C. 95,7 m  
 B. 63,8 m                      D. 127,6 m
- 10) Sebuah benda mula-mula diam kemudian bergerak melingkar dengan percepatan angular  $2 \text{ rad/s}^2$ . Banyaknya putaran yang telah ditempuh benda setelah bergerak selama 10 s adalah . . .
- A. 7 putaran                      C. 17 putaran  
 B. 10 putaran                      D. 20 putaran
- 11) Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan dengan periode 10 s mempunyai kecepatan angular sebesar . . .
- A.  $5\pi \text{ rad/s}$                       C.  $0,5\pi \text{ rad/s}$   
 B.  $2\pi \text{ rad/s}$                       D.  $0,2\pi \text{ rad/s}$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

- Arti tingkat penguasaan :
- 90 - 100% = baik sekali
  - 80 - 89% = baik
  - 70 - 79% = cukup
  - < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

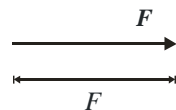
## KEGIATAN BELAJAR 3

## Dinamika Gaya dan Hukum Newton

Pada pokok bahasan sebelumnya kita telah mempelajari gerak benda, baik 1 atau dua dimensi, tanpa memandang penyebab geraknya. Deskripsi semacam itu dikenal sebagai *kinematika*. Pada pokok bahasan ini kita mulai mempelajari keadaan gerak benda dengan memandang penyebab geraknya, yaitu *gaya*. Pembahasan tentang ini dikenal sebagai *dinamika*. Sebelum mempelajari tentang dinamika, terlebih dahulu kita akan mempelajari besaran gaya sebagai besaran vektor, khususnya dalam hal penjumlahan gaya. Selanjutnya kita akan mempelajari hukum alam yang menjadi hukum dasar dari gerak benda. Hukum dasar ini pertama kali dikemukakan oleh *Sir Isaac Newton* (1642 – 1727) dan dikenal sebagai *hukum-hukum Newton tentang gerak*. Dinamika pada dasarnya adalah pembahasan hukum-hukum Newton dan penerapannya.

### A. Gaya Sebagai Besaran Vektor

Gaya dapat dikatakan sebagai penyebab perubahan gerak. Gaya adalah besaran vektor. Jika pada suatu benda bekerja lebih dari sebuah gaya, maka gaya-gaya tersebut dapat dijumlahkan dengan cara penjumlahan vektor sehingga menghasilkan sebuah resultan gaya. Dalam menjumlahkan beberapa vektor gaya dapat dipergunakan metode penjumlahan vektor seperti metode jajaran genjang atau metode uraian. Gambar 1.41 adalah representasi gambar dari sebuah gaya  $F$ . Pada gambar tersebut panjang anak panah merepresentasikan besarnya gaya dan arah panah merepresentasikan arah gaya.



**Gambar 1.41.**  
Representasi gambar dari sebuah gaya.

Satuan gaya dalam sistem internasional (SI) adalah **newton** (N) dan dalam satuan cgs adalah **dyne**, dimana  $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne}$ . Penurunan satuan gaya secara dimensional akan kita pelajari pada pembahasan selanjutnya. Pemberian nama satuan newton adalah sebagai penghargaan terhadap Sir Isaac Newton, penemu hukum-hukum alam tentang gerak.

**Contoh 1.25 :**

Dua buah gaya bekerja pada titik pangkal yang sama. Besar masing-masing gaya adalah 5 N dan 10 N, dan keduanya membentuk sudut  $60^\circ$ . Tentukan besar dan arah resultan gayanya.

**Penyelesaian :**

Misalkan kedua buah gaya tersebut adalah  $F_1$  dan  $F_2$  dengan  $F_1 = 5 \text{ N}$  dan  $F_2 = 10 \text{ N}$ . Dengan metode jajaran genjang kita dapatkan vektor resultan gayanya seperti pada gambar. Besarnya resultan gaya dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (1.3) :

$$\begin{aligned} F_r &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos 60^\circ} \\ &= \sqrt{5^2 + 10^2 + 2(5)(10)(0,5)} \\ &= 13,21 \text{ N} \end{aligned}$$

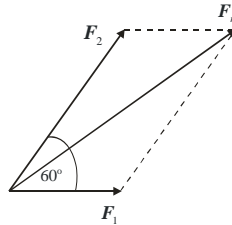
arah  $F_r$  seperti pada gambar.

**Contoh 1.26 :**

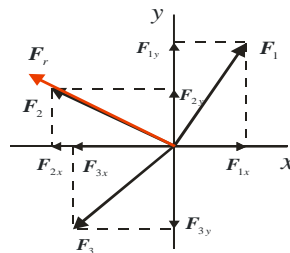
Tiga buah gaya yang sama besarnya bekerja sebidang dengan titik pangkalnya adalah pusat koordinat kartesian  $xy$ . Sudut yang dibentuk oleh masing-masing gaya terhadap sumbu- $x$  positif adalah  $60^\circ$ ,  $150^\circ$  dan  $225^\circ$ , dan besarnya masing-masing gaya adalah 10 N. Tentukan besar dan arah dari resultan gayanya.

**Penyelesaian :**

Misalkan gaya-gaya tersebut adalah dengan  $F_1 = F_2 = F_3 = 10 \text{ N}$  dan masing-masing membentuk sudut  $\theta_1 = 60^\circ$ ,  $\theta_2 = 150^\circ$  dan  $\theta_3 = 225^\circ$ . Dengan metode uraian kita dapatkan besarnya komponen-komponen gaya pada arah sumbu- $x$  dan  $y$ ,



**Gambar 1.42.**  
Penjumlahan gaya.



**Gambar 1.43.**  
Tiga buah gaya bekerja koordinat kartesian.



$$F_{1x} = F_1 \cos 60^\circ = (10)(0,5) \text{ N} = 5 \text{ N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cos 150^\circ = (10)(-0,87) \text{ N} = -8,7 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 225^\circ = (10)(-0,71) \text{ N} = -7,1 \text{ N}$$

$$F_{rx} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 5 \text{ N} - 8,7 \text{ N} - 7,1 \text{ N} = -10,8 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 \sin 60^\circ = (10)(0,87) \text{ N} = 8,7 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin 150^\circ = (10)(0,5) \text{ N} = 5 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 \sin 225^\circ = (10)(-0,71) \text{ N} = -7,1 \text{ N}$$

$$F_{ry} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 8,7 \text{ N} + 5 \text{ N} - 7,1 \text{ N} = 6,6 \text{ N}$$

Besarnya resultan gaya kita cari dengan menggunakan Persamaan (1.23) :

$$F_r = \sqrt{F_{rx}^2 + F_{ry}^2} = \sqrt{10,8^2 + 6,6^2} \approx 12,7 \text{ N}$$

Sudut yang dibentuk oleh  $F_r$  dengan sumbu  $x$  positif adalah,

$$\tan \theta_r = \frac{F_{ry}}{F_{rx}} = \frac{6,6}{-10,8} \approx -0,6$$

$$\theta = \tan^{-1}(-0,6) = 149^\circ$$

## B. Hukum-Hukum Newton Tentang Gerak

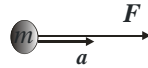
Hubungan antara gaya dan perubahan kecepatan telah diselediki oleh seorang fisikawan besar yang berasal dari Inggris yaitu Sir Isaac Newton (1642 – 1727). Penyelidikan Newton didasarkan pada hasil eksperimen Galileo Galilei (1564 – 1642) yang menghasilkan konsep percepatan. Newton mendapatkan hubungan antara percepatan dengan pengaruh luar yang dikenal sebagai *gaya*, dan menemukan adanya empat hukum alam yang mendasari gerak benda. Keempat hukum tersebut kemudian oleh para fisikawan diberi nama *Hukum-Hukum Newton*. Pernyataan dari hukum-hukum Newton dapat dituliskan sebagai berikut:

**Hukum Newton I :**

*Jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada suatu benda maka benda akan diam atau bergerak lurus beraturan.*

**Hukum Newton II :**

*Percepatan yang ditimbulkan oleh suatu gaya besarnya sebanding dengan besarnya gaya tersebut, dan arahnya searah dengan arah gaya.*



**Gambar 1.44.**  
Gaya menyebabkan timbulnya percepatan.

Secara matematis hukum Newton II dinyatakan dalam persamaan:

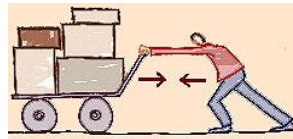
$$F = ma \quad (1.76)$$

dengan  $m$  adalah massa benda yang merupakan sifat inersial (lembam) dari benda.

Hukum Newton I dapat diturunkan dari Hukum Newton II, yaitu jika  $F = 0$  maka  $a = 0$ , artinya benda dalam keadaan tetap diam atau bergerak lurus beraturan. Dalam keadaan ini benda dikatakan setimbang.

**Hukum Newton III :**

*Jika sebuah benda mengerjakan gaya pada benda lain maka benda kedua juga akan melakukan gaya terhadap benda pertama. Dalam keadaan setimbang gaya aksi-reaksi ini sama besar, hanya arahnya berlawanan.*



**Gambar 1.45.**  
Gaya aksi-reaksi.  
(Dari muse.tau.ac.il)

Hukum Newton III dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan,

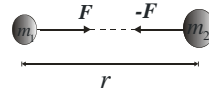
$$F_{\text{aksi}} = -F_{\text{reaksi}} \quad (1.77)$$

**Hukum Newton IV :**

*Pada dua benda yang berjarak tertentu akan timbul gaya tarik-menarik (gaya gravitasi) yang arahnya pada garis hubung kedua benda, dan*

besarnya sebanding dengan massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

Untuk dua benda yang massanya  $m_1$  dan  $m_2$  dan keduanya berjarak  $r$ , menurut hukum Newton IV pada keduanya



akan terjadi gaya gravitasi sebesar.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.78)$$

**Gambar 1.46.**  
Gaya gravitasi antara dua benda.

$G$  adalah konstanta gravitasi universal yang besarnya  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$

Gaya gravitasi adalah salah satu dari gaya-gaya alam. Gaya-gaya alam lainnya adalah gaya elektromagnetik, gaya interaksi kuat dan gaya interaksi lemah. Gaya elektromagnetik adalah gaya yang dihasilkan oleh medan elektromagnetik. Gaya interaksi kuat dan interaksi lemah adalah gaya-gaya yang mengikat partikel-partikel di dalam inti atom.

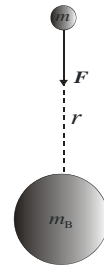
Pada pembahasan sebelumnya kita telah mengenal percepatan gravitasi bumi yang besarnya  $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ . Dengan adanya percepatan gravitasi bumi ini maka setiap benda di permukaan bumi akan menderita gaya gravitasi bumi sebesar,

$$F = mg \quad (1.79)$$

dengan  $m$  adalah massa benda. Kita ketahui dari hukum Newton IV bahwa gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda dapat dinyatakan sebagai,

$$F = G \frac{mm_B}{r^2} \quad (1.80)$$

dengan  $m_B$  adalah massa bumi dan  $r$  adalah jarak benda dengan pusat bumi.



**Gambar 1.47.**  
Gaya gravitasi bumi.

Gaya gravitasi bumi yang dinyatakan oleh Persamaan (1.79) dan (1.80) adalah identik, sehingga percepatan gravitasi bumi dapat dinyatakan sebagai,

$$g = G \frac{m_B}{r^2} \quad (1.81)$$

Persamaan (1.81) menunjukkan bahwa  $g$  sebenarnya adalah fungsi dari  $r$ . Harga  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  adalah harga pendekatan untuk tempat-tempat yang dekat dengan permukaan bumi, dengan anggapan  $r \approx R_B$  dimana  $R_B$  adalah jejari bumi,  $R_B = 6,378 \times 10^6 \text{ m}$ .

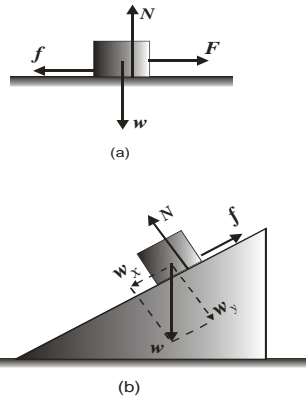
### C. Gaya-gaya mekanik

Gaya-gaya mekanik, atau gaya-gaya kontak adalah gaya-gaya reaksi dari suatu benda terhadap gaya luar. Gaya-gaya mekanik antara lain adalah *gaya normal*, *gaya gesek*, dan *gaya tegangan tali*.

Gaya normal ( $N$ ) adalah gaya pada suatu bidang yang arahnya tegak lurus bidang, dan merupakan reaksi dari gaya tekan. Gaya tekan adalah gaya luar yang bekerja pada bidang pada arah tegak lurus bidang.

Jika kita meletakkan sebuah benda di atas meja maka berat benda (gaya gravitasi bumi terhadap benda,

$w$ ) menjadi gaya tekan terhadap permukaan meja, dan sebagai reaksinya pada permukaan meja akan timbul gaya normal bidang yang besarnya sama dengan berat benda dan arahnya tegak lurus bidang ke atas (berlawanan dengan arah gaya tekan). Jika benda kita letakkan pada suatu bidang miring maka yang menjadi gaya tekan adalah komponen gaya berat yang arahnya  $\perp$  bidang miring. Pada Gambar 1.48b, gaya tekan pada bidang miring adalah  $w_y$ , dimana besarnya  $w_y = w \cos \theta$ , dimana  $\theta$  adalah sudut kemiringan bidang, dan gaya normal bidangnya adalah seperti pada gambar,  $N = -w_y$ .



**Gambar 1.48.**

Gaya normal dan gaya gesek, pada bidang datar pada bidang miring

Gaya gesek adalah gaya pada suatu bidang yang arahnya sejajar bidang dan merupakan reaksi dari gaya luar yang arahnya sejajar bidang.

Gaya gesek arahnya berlawanan dengan arah gerak benda. Terjadinya gaya gesek disebabkan oleh keadaan permukaan yang pada umumnya kasar, sehingga terjadi hambatan pada gerak benda. Jika kita letakkan sebuah benda di atas meja, dan kemudian benda kita beri gaya  $F$  yang arahnya sejajar dengan bidang (Gambar 1.48a), maka menyebabkan reaksi gaya oleh permukaan meja berupa gaya gesekan  $f$ . Jika benda dalam keadaan tetap diam maka berlaku Hukum Newton I,  $f = -F$ . Jika benda bergerak maka berlaku hukum Newton II,  $F - f = ma$ . Demikian pula jika kita meletakkan sebuah benda pada sebuah bidang miring (Gambar 1.47b). Pada benda bekerja gaya berat  $w$ , maka komponen gaya berat yang arahnya sejajar bidang, yaitu  $w_x$ , yang besarnya  $w_x = w \sin \theta$  menyebabkan timbulkan gaya gesek  $f$  yang berlawanan dengan  $w_x$ . Jika benda tetap diam maka  $f = -w_x$ , dan jika benda bergerak meluncur ke bawah maka  $w_x - f = ma$ .

Pada umumnya untuk gaya luar tidak terlalu besar didapatkan hubungan linear antara gaya gesek dan gaya normal. Pada keadaan tepat akan bergerak atau bergerak besar gaya gesek dapat dinyatakan sebagai,

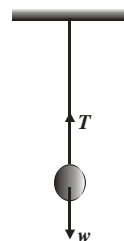
$$f = \mu N \tag{1.82}$$

dengan  $\mu$  adalah koefisien gesekan yang harganya  $0 < \mu < 1$ . Jika  $\mu = 0$  maka  $f = 0$ , artinya tidak ada gesekan, dan permukaannya dikatakan permukaan licin.

Harga koefisien gesekan untuk keadaan diam pada umumnya lebih besar dari harga koefisien gesekan untuk benda yang bergerak. Koefisien gesekan untuk benda yang diam disebut koefisien gesekan statis ( $\mu_s$ ) dan

untuk benda yang bergerak disebut koefisien gesekan kinetis ( $\mu_k$ ), dan  $\mu_s \geq \mu_k$ .

Gaya tegangan tali ( $T$ ) adalah reaksi terhadap gaya luar pada tali dan bekerja sepanjang tali. Jika kita menarik seutas tali, atau kita gantungkan sebuah beban pada seutas tali, maka pada ujung tali terjadi gaya reaksi, dan gaya aksi-reaksi ini diteruskan pada setiap titik pada tali sehingga terjadi



**Gambar 1.49.**  
Gaya tegang tali.

tegangan tali. Pada Gambar 1.49, gaya tegangan tali dapat dinyatakan sebagai  $T = -w$ .

**Contoh 1.27 :**

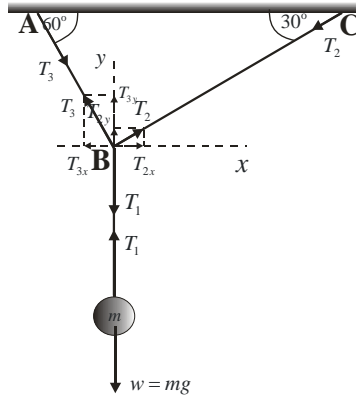
Sebuah benda dengan massa 2 kg digantung dengan dua utas tali seperti pada Gambar 1.50. Masing-masing tali membentuk sudut  $60^\circ$  dan  $30^\circ$  terhadap atap dinding. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan besarnya gaya tegangan pada masing-masing tali.

**Penyelesaian :**

Pada benda terjadi kesetimbangan gaya, sehingga berlaku :

$$\sum F = 0$$

$$T_1 - w = 0 \Rightarrow T_1 = w = mg \quad (1)$$



**Gambar 1.50**  
Sistem tegangan tali

Pada titik B, gaya-gaya  $T_2$  dan  $T_3$  dapat diuraikan ke dalam komponen-komponennya pada arah  $x$  dan  $y$ , dimana :

$$T_{2x} = T_2 \cos 30^\circ = 0,87T_2 \quad T_{3x} = T_3 \cos 60^\circ = 0,5T_3$$

$$T_{2y} = T_2 \sin 30^\circ = 0,5T_2 \quad T_{3y} = T_3 \sin 60^\circ = 0,87T_3$$

Dalam keadaan setimbang pada titik B berlaku,

$$\sum F_x = 0$$

$$T_{2x} - T_{3x} = 0 \Rightarrow 0,87T_2 - 0,5T_3 = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T_1 - T_{2y} - T_{3y} = 0 \Rightarrow T_1 - 0,5T_2 - 0,87T_3 = 0 \quad (3)$$

Dari Persamaan (1) kita ketahui,

$$T_1 = mg = (2)(10) \text{ N} = 20 \text{ N}$$

Sehingga persamaan (3) menjadi,

$$0,5T_2 + 0,87T_3 = 20 \quad (4)$$

Selanjutnya, dengan mengalikan Persamaan (2) dengan 0,5 dan Persamaan (4) dengan 0,87 dan kemudian kedua Persamaan kita kurangkan, kita dapatkan :

$$\begin{array}{r} 0,435T_2 - 0,25T_3 = 0 \\ 0,435T_2 + 0,7569T_3 = 17,4 \\ \hline -1,019T_3 = -17,4 \\ T_3 = \frac{-17,4}{-1,019} \text{ N} \approx 17 \text{ N} \end{array}$$

Selanjutnya dari Persamaan (2) dapat kita tentukan besarnya  $T_3$  ,

$$\begin{array}{r} 0,87T_2 - 0,5T_3 = 0 \\ 0,87T_2 = 0,5T_3 \\ T_2 = \frac{0,5T_3}{0,87} = \frac{(0,5)(17)}{0,87} \text{ N} = 9,8 \text{ N} \end{array}$$

Jadi kita dapatkan :

$$T_1 = 20 \text{ N}, T_2 = 9,8 \text{ N} \text{ dan } T_3 = 17 \text{ N} .$$

**Contoh 1.28 :**

Sebuah balok yang massanya 2 kg mula-mula ditahan diam dipuncak suatu bidang miring. Benda kemudian dilepas dan meluncur pada bidang miring dan sampai di dasar bidang miring dalam waktu 1,5 s. Jika panjang bidang miring 5 m, sudut kemiringannya  $30^0$ , dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$  , tentukanlah :

- Percepatan benda
- Koefisien gesekan benda dengan bidang miring

**Penyelesaian :**

- Gerak benda sepanjang bidang miring adalah gerak lurus dipercepat beraturan.

Percepatan benda dapat dihitung dengan Persamaan :

$$s_t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

atau,

$$a = \frac{2(s_t - v_0 t)}{t^2}$$

Dari soal diketahui  $s_t = 5 \text{ m}$ ,  $v_0 = 0$ ,  $t = 1,5 \text{ s}$ , sehingga kita dapatkan,

$$a = \frac{2(5 - 0)}{(1,5)^2} \approx 4,44 \text{ m/s}^2$$

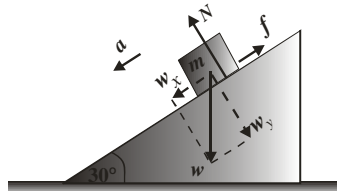
- Karena benda bergerak sepanjang miring maka berlaku hukum Newton II :

$$\sum F_x = m a$$

$$\begin{aligned} w \sin 30^\circ - f &= m a \Rightarrow f = w \sin 30^\circ - m a \\ &= m g \sin 30^\circ - m a \\ &= \{(2)(10)(0,5) - (2)(4,44)\} \text{ N} \\ &= 1,12 \text{ N} \end{aligned}$$

Kita ketahui bahwa,

$$f = \mu N \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{f}{N}$$



**Gambar 1.51.**  
Gerak balok pada bidang miring.



dengan  $N$  adalah gaya normal yang merupakan reaksi dari gaya tekan

$$N = w \cos 30^\circ = mg \cos 30^\circ = (2)(10)(0,87) \text{ N} = 17,4 \text{ N}$$

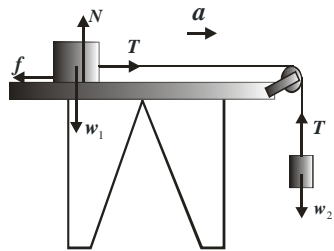
Jadi, kita dapatkan,

$$\mu = \frac{1,12}{17,4} = 0,06$$

Jadi, koefisien gesekan bidang miring adalah  $\mu = 0,06$ .

**Contoh 1.29 :**

Sebuah benda massa  $m_1 = 2 \text{ kg}$  diletakkan pada bidang horisontal dan dihubungkan dengan benda lain yang massanya  $m_2 = 1 \text{ kg}$  dengan seutas tali, dan benda kedua menggantung melalui sebuah katrol. Jika koefisien gesekan antara benda dan bidang  $\mu = 0,4$ , dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapa besar percepatannya gerak benda?



**Gambar 1.52.**

Gerak sistem dua benda yang dihubungkan dengan tali.

**Penyelesaian :**

Uraian gaya-gaya pada masing-masing benda adalah seperti pada gambar.

Untuk benda  $m_1$  yang hanya bergerak pada arah horizontal berlaku Persamaan gaya,

$$N - w_1 = 0 \Rightarrow N = w_1 = m_1 g = (2)(10) \text{ N} = 20 \text{ N}$$

$$f = \mu N = (0,4)(20) \text{ N} = 8 \text{ N}$$

$$T - f = m_1 a$$

$$T - 8 = 2a \Rightarrow 2a = T - 8 \quad (1)$$

Untuk benda  $m_2$  berlaku persamaan gaya,

$$\begin{aligned}
 w_2 - T &= m_2 a \\
 m_2 g - T &= m_2 a \\
 (1)(10) - T &= (1)a \Rightarrow a = 10 - T \quad (2)
 \end{aligned}$$

Jika kita jumlahkan persamaan (1) dan (2) kita dapatkan,

$$3a = 2 \Rightarrow a = \frac{2}{3} \text{ m/s}^2 \approx 0,67 \text{ m/s}^2$$

Jadi percepatan dari sistem ini besarnya  $a \approx 0,67 \text{ m/s}^2$ .

#### D. Gaya-gaya pada Tubuh Manusia

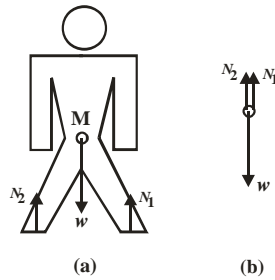
Setiap sel pada tubuh kita menderita gaya gravitasi. Gaya-gaya gravitasi tersebut menghasilkan suatu resultan gaya yang arahnya ke bawah (ke pusat bumi). Titik tangkap gaya resultan tersebut di dalam tubuh kita dikenal sebagai *titik berat*.

Selain gravitasi, atau sering disebut gaya berat, tubuh kita juga menderita gaya lain sebagai reaksi dari gaya berat, yaitu gaya normal bidang yang bekerja pada kedua kaki kita dan arahnya ke atas. Dalam keadaan setimbang, jumlah gaya aksi-reaksi

ini sama dengan nol. Gambar 1.53 menunjukkan gaya-gaya total yang bekerja pada tubuh kita dengan  $w$  menyatakan gaya berat, dan  $N_1$  dan  $N_2$  adalah gaya-gaya normal yang bekerja pada kedua kaki kita. Dalam keadaan setimbang besarnya gaya-gaya dapat kita tuliskan sebagai,

$$\sum F = 0 \Rightarrow w = N_1 + N_2$$

Keadaan setimbang juga dapat terjadi pada bagian-bagian tubuh lain seperti tangan, badan, kaki, dan bagian lainnya, yaitu pada saat bagian tubuh itu dalam keadaan diam atau bergerak beraturan. Jika keadaan setimbang terjadi pada salah satu kaki misalnya, maka jumlah gaya-gaya yang bekerja pada kaki tersebut jumlahnya sama dengan nol. Gambar 1.54.

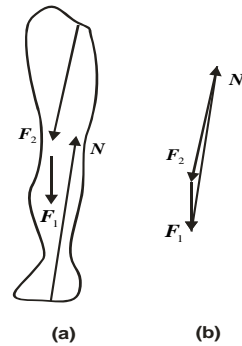


**Gambar 1.53.**  
Gaya-gaya total pada tubuh manusia.

menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada salah satu kaki yang berada dalam keadaan setimbang.

Pada kaki tersebut bekerja dua buah gaya yang arahnya condong ke bawah, yaitu gaya yang bekerja pada tulang kaki, dan sebuah gaya yang arahnya condong ke atas, yang merupakan gaya normal bidang. Jumlah gaya-gaya ini besarnya sama dengan nol, atau dapat kita tuliskan,

$$\sum F = 0 \Rightarrow N = F_1 + F_2$$



**Gambar 1.54.**  
Gaya-gaya pada kaki manusia.

Ada dua macam kesetimbangan gaya, yaitu kesetimbangan translasi dan kesetimbangan rotasi. Kesetimbangan yang dibahas di atas adalah jenis kesetimbangan translasi. Jenis kesetimbangan yang lain adalah kesetimbangan rotasi. Jenis kesetimbangan ini akan kita jumpai pada saat kita mempelajari *momen gaya*.

**E. Kekuatan Tulang Kering (*tibia*)**

Pada saat seseorang terjatuh atau melompat dari suatu ketinggian dan mendarat dengan kakinya terlebih dahulu maka ia menderita *stress tekan* (gaya tekan persatuan luas penampang) sepanjang tulang kakinya. Daerah yang terkena stress yang terbesar adalah *tibia* (tulang kering), khususnya pada bagian yang luas penampangnya kecil, yaitu sedikit di atas tulang engkel (mata kaki). *Tibia* dapat menahan gaya tekan sampai kira-kira  $5 \times 10^4$  N, atau jika seseorang jatuh dengan bertumpu pada dua kakinya maka tulang tibianya dapat menahan gaya tekan kira-kira  $10^5$  N. Gaya sebesar ini kira-kira sama dengan 167 kali berat badan manusia jika kita misalkan rata-rata massa manusia 60 kg. Gaya sebesar ini hanya dapat dihasilkan dari tumbukan dan disebut *gaya impulsif*. Pada modul berikutnya kita akan mempelajari sifat gaya impulsif ini. Pada saat seseorang jatuh dalam keadaan tegak, terjadi gaya tekan yang sangat besar pada kedua kakinya, dan tulang kakinya akan mengalami perubahan panjang (pemendekan). Ketinggian maksimumnya dari jatuhnya seseorang yang tidak mengakibatkan patah tulang kaki dapat dinyatakan dengan,

$$h = \frac{Fx}{w} \quad (1.83)$$

dimana:

$h$  = ketinggian maksimum

$w = mg$

= berat badan manusia

$F = 10^5 \text{ N} \approx 167 w$

= gaya tekan maksimum

$x$  = perubahan panjang tulang kering

Jika seseorang jatuh dalam keadaan tegak, maka gaya tekan maksimumnya akan menyebabkan panjang tulang keringnya berkurang (terkompresi) kira-kira 1 cm, atau kira-kira  $10^{-2}$  m. Dengan demikian dapat diperkirakan ketinggian maksimum seseorang untuk jatuh atau terjun dalam keadaan selamat adalah,

$$h = \frac{(167w)(10^{-2})}{w} \approx 1,67 \text{ m}$$

Jadi jika seseorang jatuh atau terjun bebas dari ketinggian  $h > 1,67$  m, dan jatuhnya dalam keadaan tegak, akan menyebabkan patah tulang keringnya.

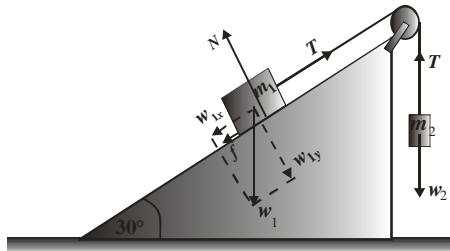
Stress tekan yang dialami seseorang pada tulang keringnya pada saat dia jatuh dapat dikurangi dengan cara menekuk lututnya, dengan menekuk lutut pada saat jatuh seseorang membuat perlambatan, dan sampai ia mencapai posisi jongkok seolah-olah ia mengalami perlambatan sejauh 0,6 m. Ini berarti memperbesar  $x$  pada persamaan di atas sebesar kira-kira 60 kalinya sehingga ketinggian maksimum ( $h$ ) yang tidak menyebabkan patah tulang kering menjadi kira-kira  $60 \times 1,67 \text{ m} = 100,2 \text{ m}$ . Namun demikian, jatuh dari ketinggian ini bukan berarti akan selamat karena tulang telapak kaki ternyata hanya mampu menahan kira-kira seperduapuluh kali stress maksimum. Jika ini diperhitungkan maka ketinggian maksimum untuk jatuh dengan selamat hanya tinggal kira-kira 5 m. Namun demikian, ketinggian 5 m masih dianggap beresiko, sehingga tidak dianjurkan bagi seseorang untuk terjun bebas dari ketinggian 5 m !



**LATIHAN 3**

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Dua buah gaya bekerja pada bidang -  $xy$  pada koordinat Cartesien. Gaya-gaya tersebut adalah  $F_1 = 10 \text{ N}$  dan  $F_2 = 12 \text{ N}$  masing-masing membentuk sudut  $30^\circ$  dan  $135^\circ$  terhadap sumbu -  $x$  positif. Tentukan besarnya resultan gaya yang dihasilkan
  
- 2) Dua buah benda dalam keadaan setimbang pada sistem bidang miring seperti pada Gambar 1.55. Diketahui  $m_1 = 4 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 2 \text{ kg}$ ,  $\alpha = 30^\circ$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Jika katrol licin, berapakah besarnya koefisien gesekan bidang miring ?

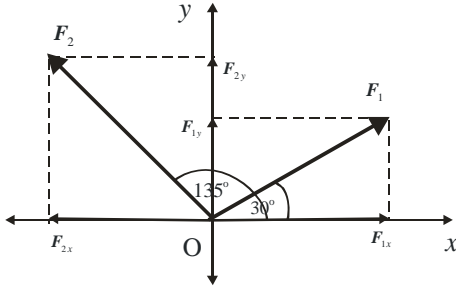


Gambar 1.55.  
Sistem dua benda pada bidang miring.

- 3) Sebuah balok mula-mula ditahan diam dipuncak sebuah bidang miring yang sudut kemiringannya  $45^\circ$ . Ketika dilepas, balok meluncur pada bidang miring dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapa besarnya koefisien gesekan balok dengan bidang miring ?
  
- 4) Jika seseorang jatuh bebas dari ketinggian  $1,67 \text{ m}$ , berapa besar kecepatannya pada saat mendarat di tanah dan berapa lama proses perlambatannya ?

*Petunjuk Penyelesaian Latihan*

1) Uraian gaya-gaya pada bidang-xy,



$$F_{1x} = F_1 \cos 30^\circ \quad F_{2x} = F_2 \cos 135^\circ$$

$$F_{1y} = F_1 \sin 30^\circ \quad F_{2y} = F_2 \sin 135^\circ$$

$$R_x = \sum F_x = F_{1x} + F_{2x}$$

$$R_y = \sum F_y = F_{1y} + F_{2y}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

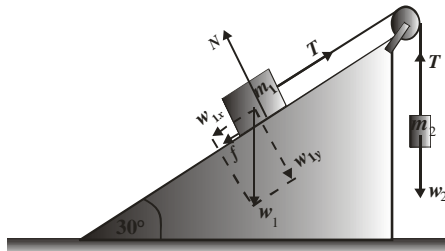
Catatan : Gunakan Kalkulator

2) Benda  $m_2$  setimbang,

$$T = w_2 = m_2 g \quad (1)$$

Benda  $m_1$  setimbang,

$$T = w_1 \sin \theta + f \quad (2)$$

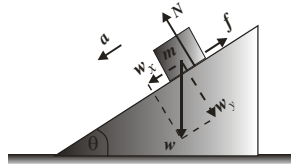


Dari (1) dan (2) dapat ditentukan  $f$ , dan  $\mu$  dicari dari hubungan,

$$f = \mu N \Rightarrow \mu = \frac{f}{N}$$

dengan,  $N = w_{1y} = w_1 \cos \theta = m_1 g \cos \theta$ .

$$\begin{aligned} 3) \sum F &= w \sin \theta - f \\ &= w \sin \theta - \mu N \\ &= w \sin \theta - \mu w \cos \theta \\ &= w (\sin \theta - \mu \cos \theta) \end{aligned}$$



dengan  $w = mg$ .  
Hukum Newton II,

$$\begin{aligned} \sum F = ma &\Rightarrow w (\sin \theta - \mu \cos \theta) = ma \\ mg (\sin \theta - \mu \cos \theta) &= ma \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas dapat dicari besarnya koefisien gesekan  $\mu$ .

4) Dari persamaan gerak jatuh bebas,

$$h_t = h_0 - \left( v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \right)$$

dengan  $v_0 = 0$  (jatuh bebas) dan  $h_t = 0$  (jatuh di tanah) didapat,

$$t^2 = \frac{2h_0}{g}$$

atau,

$$t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

Kecepatan pada saat jatuh,

$$v_t = v_0 - gt \quad , v_0 = 0$$

dengan  $h_0 = 1,67$  dan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  maka  $v_t$  dapat dicari.



## RANGKUMAN

---

Gaya adalah penyebab perubahan gerak dan merupakan besaran vektor. Dengan konsep gaya, Newton memformulasikan hukum-hukum tentang gerak benda dan gravitasi sebagai berikut:

$$\sum \mathbf{F} = 0 \Leftrightarrow \text{setimbang (diam atau bergerak lurus beraturan)}$$

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{F}_{\text{aksi}} = -\mathbf{F}_{\text{reaksi}}$$

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

Diantara gaya-gaya mekanik yang kita kenal adalah gaya tegangan tali, gaya gesekan dan gaya normal. Hubungan antara gaya gesekan dan gaya normal dinyatakan dengan :

$$f = \mu N$$

dengan  $\mu$  adalah koefisien gesekan.

Hukum-hukum Newton dapat diterapkan untuk memecahkan persoalan sistem tegangan tali, sistem bidang miring dan sistem ketahanan tulang manusia.



## TES FORMATIF 3

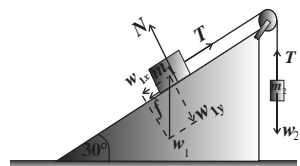
---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Dua buah gaya sama besarnya, yaitu masing-masing 10 N, bekerja pada titik pangkal yang sama. Perpaduan dua gaya tersebut menghasilkan resultan gaya sebesar 15 N. Besarnya sudut apit kedua gaya tersebut adalah ...
- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| A. $60^\circ$ | C. $75,5^\circ$ |
| B. $68^\circ$ | D. $82,8^\circ$ |



- 2) Dua buah gaya masing-masing besarnya 4 N dan 6 N bekerja pada bidang -  $xy$  pada sistem koordinat Cartesian. Gaya yang besarnya 4 N membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap sumbu- $x$  positif dan yang lain membentuk sudut  $150^\circ$ . Besarnya resultan gaya pada arah -  $x$  adalah...
- A.  $R_x = (2 + 3\sqrt{3})$  N      C.  $R_x = (3 + 2\sqrt{3})$  N  
 B.  $R_x = (2 - 3\sqrt{3})$  N      D.  $R_x = (3 - 2\sqrt{3})$  N
- 3) Dari soal No.2, besarnya resultan gaya pada arah -  $y$  adalah . . . .
- A.  $R_y = (2 + 3\sqrt{3})$  N      C.  $R_y = (3 + 2\sqrt{3})$  N  
 B.  $R_y = (2 - 3\sqrt{3})$  N      D.  $R_y = (3 - 2\sqrt{3})$  N
- 4) Dari soal No.2, besarnya resultan gaya pada bidang -  $xy$  adalah . . . .
- A.  $R = \sqrt{13}$  N      C.  $R = \sqrt{10}$  N  
 B.  $R = 2\sqrt{13}$  N      D.  $R = 2\sqrt{10}$  N
- 5) Sebuah benda dengan massa 5 kg diletakkan pada sebuah bidang miring yang sudut kemiringannya  $\alpha$ . Jika koefisien gesekan bidang miring  $\mu = 0,6$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , dan benda dalam keadaan diam, maka besarnya sudut  $\alpha = \dots$
- A.  $23^\circ$       C.  $31^\circ$   
 B.  $28^\circ$       D.  $36^\circ$
- 6) Jika pada soal No.5 sudut kemiringan diperbesar sampai  $\alpha = 45^\circ$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$  maka benda bergerak dengan percepatan . . . .
- A.  $2\sqrt{2} \text{ m/s}^2$       C.  $\frac{1}{2}\sqrt{2} \text{ m/s}^2$   
 B.  $\sqrt{2} \text{ m/s}^2$       D.  $\frac{1}{4}\sqrt{2} \text{ m/s}^2$
- 7) Dua buah benda berada pada sistem bidang miring seperti pada Gambar 1.56. Diketahui  $m_1 = 3 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 2 \text{ kg}$ ,  $\alpha = 30^\circ$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Jika sistem dalam keadaan setimbang, maka besarnya koefisien gesekan antara benda dan bidang adalah . . . .



**Gambar 1.56.**  
 Sistem dua benda pada bidang miring.

- A. 0,2      C. 0,4  
B. 0,3      D. 0,5

8) Pada soal No.7, besarnya tegangan tali ( $T$ ) adalah,

- A. 10 N                      C. 30 N  
B. 20 N                      D. 40 N

9) Jika seorang dengan massa 60 kg menjatuhkan diri dari ketinggian 0,75 m dengan posisi jatuh tegak pada kedua kakinya, maka tulang keringnya akan mengalami kompresi (pengurangan panjang) sebesar,

- A.  $4,5 \times 10^{-2}$  m      C.  $4,5 \times 10^{-3}$  m  
B.  $2,2 \times 10^{-2}$  m      D.  $2,2 \times 10^{-3}$  m

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{\text{Jumlah soal}} \times 100\%$$

- Arti tingkat penguasaan : 90 - 100% = baik sekali  
80 - 89% = baik  
70 - 79% = cukup  
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

## Kunci Jawaban Tes Formatif

### *Tes Formatif 1*

- 1) D
- 2) C
- 3) A
- 4) C
- 5) C
- 6) B
- 7) C
- 8) D

### *Tes Formatif 2*

- 1) C
- 2) B
- 3) D
- 4) B
- 5) C
- 6) A
- 7) D
- 8) A
- 9) B
- 10) C
- 11) D

### *Tes Formatif 3*

- 1) D
- 2) B
- 3) C
- 4) B
- 5) C
- 6) A
- 7) A
- 8) B
- 9) C

## Daftar Pustaka

Cromer, A.H. (1981). *Physics for The Life Science, Second Edition*. International Student Edition.

Giancoli, D.C. (1995). *Physics, Fourth Edition*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.

Hobbie, R.K. and Roth, B.J. (2007). *Intermediate Physics for Medicine and Biology*. Fourth Edition. Springer.

Marion, J.B. (1979). *General Physics with Bioscience Essays*. New York: John Willey & Sons, Inc.

Marion, J.B. & Hornyak, W.F. (1984). *Principles of Physics*. Student College Publishing.

O'Dwyer, J.J. (1984). *College physics*. Second Edition. Wadsworth Publishing Company.

Serway, R.A. (1982). *Physics for Scientist and Engineers*. Second Edition. Sounders College Publishing.