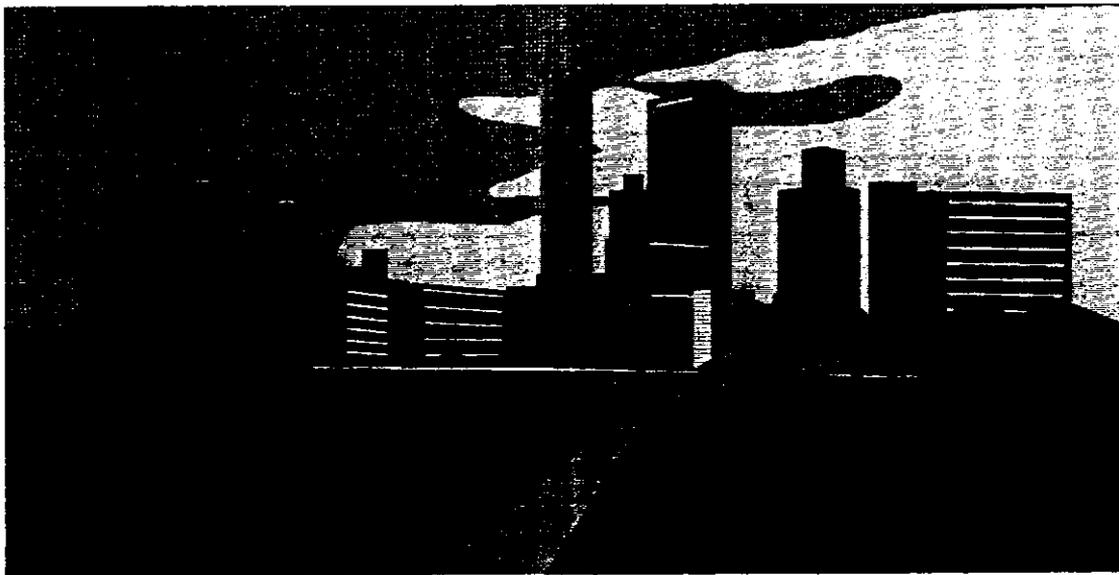


KINEMATIKA DAN GAYA STATIS



Oleh: ✓
Drs. Jon Hendri, M. Si.
Drs. Usmeldi, M. Pd.

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
DITERIMA TGL. : 14 MAY 1997
SUMBER / HARGA : H 1
KOLEKSI : K
NO. INVENTARIS : 850/K/97-Ko (2)
KLASIFIKASI : 531.112 HEN L

FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG

JUDUL : _____
PENGARANG : _____ 1996
JENIS : _____
No. DAFTAR : _____
TANGGAL : _____

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG
KEPALA,

KATA PENGANTAR

Pengetahuan Kinematika dan Gaya Statis ini merupakan bagian dari *Basic Science* yang dipergunakan sebagai salah satu sarana dalam memahami konsep-konsep ilmu teknik untuk mengantisipasi masalah-masalah bidang keteknikan yang semakin canggih dewasa ini.

Berdasarkan pernyataan di atas, penulis mencoba menulis buku serial Fisika Teknik, yaitu Kinematika dan Gaya Statis yang membahas hal-hal yang berkaitan dengan prinsip-prinsip gerak serta aplikasi gaya yang mendasari ilmu keteknikan.

Kemudian penulis mengharapkan buku ini benar-benar dapat membantu membaca di dalam memahami dan menyelesaikan masalah lebih jauh lagi tentang pengetahuan kinematika dan gaya statis serta aplikasinya di dalam bidang keteknikan.

Pada kesempatan ini perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan tim Fisika Teknik FPTK IKIP Padang atas bantuan di dalam menyelesaikan penulisan buku ini.

Karena keterbatasan pengetahuan dan kurangnya pengalaman dalam penyusunan buku ini penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangan baik isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, sumbangan saran serta kritik yang konstruktif dari pembaca demi perbaikan tulisan ini, penulis sambut dengan senang hati.

Padang, Agustus 1996

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. BESARAN DAN SATUAN	2
2.1. Besaran Dasar.....	2
2.2. Penjabaran Satuan-Satuan.....	4
2.3. Konversi Satuan.....	8
BAB 3. GERAK	9
3.1. Gerak Lurus.....	9
3.2. Gerak Melingkar.....	27
3.3. Soal Latihan.....	39
BAB 4. GAYA STATIKA	42
4.1. Besaran Skalar dan Vektor.....	42
4.2. Gaya.....	42
4.3. Resultan Gaya-Gaya pada Bidang Datar.....	43
4.4. Diagram Gaya-Gaya Poligon.....	45
4.5. Analitis.....	48
4.6. Gaya Paralel.....	51
4.7. Soal Latihan.....	58
DAFTAR ACUAN	61

BAB 1

PENDAHULUAN

Di dalam era perkembangan bidang keteknikan, sangat diperlukan ilmu teknik yang lebih mendalam guna mengantisipasi masalah-masalah yang akan timbul di bidang tersebut. Seperti yang sudah diketahui bahwa perkembangan ilmu teknik tidak terlepas dari *Basic Science*, salah satunya adalah prinsip-prinsip kinematika dan gaya statis yang merupakan bagian dari ilmu fisika teknik. Ilmu kinematika dan gaya statis merupakan dasar dari prinsip-prinsip yang akan diterapkan untuk pengembangan bidang keteknikan lebih jauh lagi.

Mempelajari ilmu kinematika dan gaya statis akan dilibatkan pada banyak hal yang menyangkut kehidupan manusia. Misalnya, untuk menentukan kelajuan sebuah mobil bergerak di jalan dengan melihat angka yang ditunjukkan oleh speedometer. Dapat berdirinya gedung-gedung bertingkat dengan kokoh, hal ini karena para ilmuwan mampu mengatasi salah satunya persoalan ketidak stabil yang akan timbul dari bangunan tersebut.

Materi buku ini, yaitu mencakup konsep dasar tentang kinematika dan gaya statis. Secara ringkas materi buku ini adalah :

Bab 1, mengungkapkan tentang latar belakang dan ringkasan buku ini. Bab 2, akan membahas prinsip besaran dan satuan dasar, pengukuran gaya-gaya statis dan konversi satuan. Bab 3, pada bab ini akan dijelaskan tentang gerak benda tanpa memperhatikan penyebabnya bergerak benda tersebut, dikenal dengan istilah kinematika. Kemudian gerak benda tersebut dibagi atas dua bagian, yaitu: gerak lurus dan gerak rotasi. Bab 4, merupakan bab terakhir dari buku ini, yang akan menguraikan tentang gaya statis dan momen pada suatu benda.

BAB 2

BESARAN DAN SATUAN

2. 1. Besaran Dasar

Sejak zaman purba ada tiga besaran dasar yang dikenal, yaitu : ukuran panjang, massa dan waktu, ke tiga besaran ini dapat diukur dengan panca indera. Kemudian mayoritas satuan-satuan yang dipergunakan untuk pengukuran besaran-besaran fisika lain didasari dari ketiga satuan dasar tersebut.

2.1.1. Ukuran Panjang

Besaran dasar panjang pada zaman dahulu diukur dengan mempergunakan 1 jengkal, 1 depa, 1 hesta. Untuk keseragaman di dalam pengukuran panjang dipergunakan standar dasar, yaitu di dalam satuan Internasional (SI) adalah meter dengan simbol m, didefinisikan sebagai jarak yang sama dengan 1650763,73 kali panjang gelombang cahaya merah jingga yang dipancarkan oleh isotop kripton - 86 (Meriam, 1980 : 7).

Sedangkan besarannya ditulis di dalam kelipatan 10, sehingga sangat mudah dibilang di dalam sistem desimal, yaitu:

misalnya : 1 milimeter = (1 / 1000) meter atau 10^{-3} meter,

10^3 meter = 1000 meter = 1 kilometer.

2.1.2. Ukuran Massa

Besaran dasar kedua yaitu massa, didefinisikan sebagai jumlah materi yang dikandung suatu objek. Pengukuran massa dapat dilakukan dengan membandingkan massa tersebut terhadap massa lain yang dipilih sebagai standar, biasanya perbandingan massa ini menggunakan gaya gravitasi bumi. Massa suatu benda

mudah dipengaruhi oleh perubahan bentuk maupun volume atau pengaruh-pengaruh luar lainnya.

Satuan dasar massa yaitu kilogram (kg) di dalam satuan internasional (SI). Satuan kg ini diukur dengan massa selembat platinum-iridium yang berada di Sèvres (Perancis) (Meriam, 1980 : 7).

Harga kelipatannya mengikuti sistem metrik biasa. Pada mulanya satuan dasar massa, yaitu gram, didefinisikan sebagai massa air di dalam volume 1 milimeter kubik (mm^3), tetapi pada saat sekarang dipakai kg sebagai satuan sebagai standar.

2.1.3. Ukuran Waktu

Besaran dasar ke tiga adalah waktu, di dalam kondisi normal dapat dibedakan satu peristiwa yang terjadi dengan peristiwa berikutnya pada jangka waktu tertentu. Waktu tersebut diukur dengan membandingkan beberapa interval lamanya kejadian, misalnya waktu standar lamanya hari siang, yaitu antara matahari terbit dan terbenam, tetapi ini bukanlah metode yang teliti, karena lama waktu peredaran matahari di setiap daerah tidak tetap.

Satuan dasar waktu di dalam SI, yaitu detik (*second*), didefinisikan sebagai lamanya 9192631,770 putaran dari panjang gelombang khusus suatu radiasi yang berhubungan dengan transisi antara dua tingkatan dalam keadaan dasar dari atom Caesium-133 (Besari, 1987 : 238).

Kelipatan besaran dari satuan waktu, yaitu:

1 menit = 60 detik,

1 jam = 60 menit,

kemudian kelipatan kecil waktu menurut satuan metrik yang digunakan untuk interval waktu kurang dari satu detik adalah:

1 milli detik (mdt) = $1/1000$ detik = 10^{-3} detik,

1 mikrodetik (μdt) = $1/1000000$ detik = 10^{-6} detik.

2. 2. Penjabaran Satuan-Satuan

Secara umum satuan yang dipakai di dalam setiap pengukuran dapat diuraikan dari satuan-satuan dasar, jadi suatu sistem satuan yang lengkap dapat dispesifikasikan dari satuan-satuan panjang, massa dan waktu.

Satuan luas diukur sebagai hasil kali dari dua besaran panjang dan dimensi linear mudah diikuti atau dapat dikatakan bahwa luas adalah panjang dikali panjang atau panjang kuadrat (panjang^2), apabila satuan panjang meter (m), maka satuan luas, yaitu meter kuadrat (m^2).

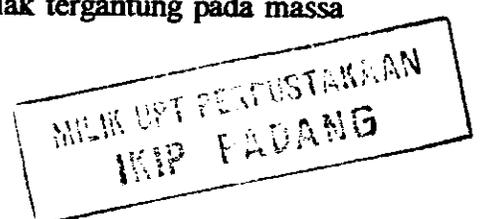
Volume pada dasarnya diukur sebagai hasil kali 3 besaran panjang, sehingga volume (isi) mempunyai dimensi panjang dikali panjang dikali panjang (panjang^3), jadi satuan volume adalah m^3 (meter kubik). Kemudian satu liter juga merupakan satuan isi, dengan $1\text{m}^3 = 1000$ liter (l), satu liter didefinisikan sebagai 1 kg air destilasi pada temperatur dan tekanan tetap.

2. 2. 1. Gaya dan Massa

Keberadaan gaya dapat diamati melalui akibat dari gaya tersebut, misalnya gaya dapat digunakan untuk mengangkat sesuatu atau memberhentikan benda bergerak. Gaya juga mampu mempengaruhi arah benda yang sedang bergerak atau dapat mempercepat dan memperlambat benda bergerak. Kemudian gaya dapat dapat membengkokkan bahkan memecahkan benda padat.

Dari hal tersebut di atas gaya dapat didefinisikan secara scientific, yaitu besaran yang didasari pada hasil pengukuran satu atau lebih dari efek gaya itu sendiri. Sedangkan orang di dalam kalangan engineering cenderung melihat hasil karena bekerjanya gaya tersebut, yang mungkin dapat dikembangkan untuk cara dan arah tertentu guna mencapai tujuan tertentu pula.

Gaya tersebut juga bersifat tolak-menolak atau cenderung membawa 2 benda saling tarik-menarik. Gaya tarik-menarik atau tolak-menolak tergantung pada massa



kedua benda dan tergantung atas jarak keduanya. Hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan gaya F antara m_1 dan m_2 yang berjarak d , yaitu :

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \quad (2.1)$$

dengan: F = gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua massa benda,

k = konstanta,

d = jarak antara kedua massa benda.

Umumnya gaya tarik-manarik atau tolak-menolak yang dihasilkan antara dua benda sangat kecil, sedangkan gaya yang dihasilkan oleh bumi cukup besar, karena massa bumi cukup besar, sehingga gaya tarik-menarik antara benda-benda tersebut dengan bumi dikenal sebagai gaya grafitasi bumi. Gaya grafitasi ini akan selalu menjaga kedudukan-kedudukan relatif planet-planet dan benda-benda langit lainnya.

Kemudian gaya grafitasi bumi pada suatu benda dengan massa m tidaklah tetap pada setiap titik di permukaan bumi, untuk menghindari berbagai pendapat di dalam satuan gaya, maka standar grafitasi ditetapkan sebagai standar gaya berat yang telah telah diterima secara internasional, yaitu $9,80665 \text{ m/dt}^2$. Seterusnya satuan gaya disebut Newton (N), yaitu apabila gaya satu Newton bekerja pada suatu benda dengan massa 1 kg, maka benda tersebut akan dipercepat 1 meter per detik kuadrat (1 m/dt^2).

2. 2. 2. Gaya dan Tekanan

Istilah gaya dan tekanan di dalam kehidupan sehari-hari sering diartikan yang sama, akan tetapi secara ilmiah dua istilah yang berbeda pengertiannya. Tekanan pada suatu permukaan atau intensitas tekanan pada permukaan adalah merupakan besaran gaya persatuan satuan luas, dengan gaya yang tegak lurus terhadap permukaan luas bidang. Misalnya ada gaya 1000 N bekerja tegak lurus pada permukaan yang mempunyai luas 5 m^2 , maka tekanannya, yaitu:



$$\text{Tekanan (P)} = F / A \quad , \quad (2.2)$$

dengan : P = tekanan,

F = gaya,

A = luas permukaan dari gaya yang bekerja,

untuk mencari harga tekanan yang disebabkan oleh gaya 1000 N tersebut adalah :

$$\begin{aligned} P &= 1000 / 5, \\ &= 200 \text{ N/m}^2. \end{aligned}$$

Satuan tekanan, yaitu N/m^2 sedangkan di Perancis orang menggunakan istilah pascal (pa) untuk N/m^2 tersebut.

$$1000 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ K N/m}^2 = 1 \text{ kpa.}$$

Contoh soal

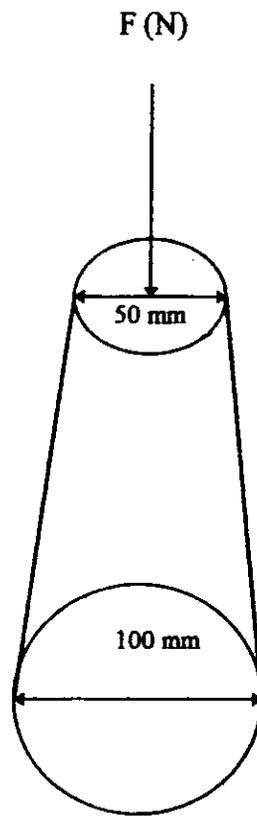
Sebuah gaya 1 kN bekerja tegak lurus pada ujung tempaan (lihat Gambar 2.1). Landasan berpenampang lingkaran 50 mm pada bagian atas dan 100 mm pada bagian dasarnya. Hitunglah tekanan pada permukaan bagian atas dan pada permukaan dasarnya.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{a. Luas permukaan bagian atas} &= (\pi/4) \cdot d^2, \\ &= (\pi/4) \cdot (50^2), \\ &= 1964 \text{ mm}^2, \\ &= 1,964 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

tekanan pada bagian atas permukaan (P), yaitu

$$P = 1000 / (1,964 \cdot 10^{-3}),$$



Gambar 2. 1. Tempaan

$$P = 509 \text{ kN/m}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{b. luas permukaan dasar} &= (\pi/4) \cdot d^2, \\ &= (\pi/4) \cdot (100^2), \\ &= 7854 \text{ mm}^2, \\ &= 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

tekanan pada bagian dasar permukaan (P), yaitu

$$\begin{aligned} P &= 1000 / (7,854 \cdot 10^{-3}), \\ &= 127 \text{ kN/m}^2, \end{aligned}$$

jadi pada permukaan bagian atas = 509 kN/m^2 dan tekanan pada permukaan dasar = 127 kN/m^2 , berarti makin luas permukaan, maka makin kecil tekanan yang terjadi.

2. 3. Konversi Satuan

Dua sistem satuan yang umum digunakan orang di Eropah dan Amerika, yaitu satuan konvensional (*British Unit*) yang masih dipakai dengan luas di bidang industri dan di negara teknologi maju, seperti : Inggris dan Amerika Serikat.

Sedangkan SI unit (Sistem Satuan Internasional) yang berdasarkan pada sistem metrik, banyak dikembangkan di negara berkembang, seperti : Indonesia, India, Korea dan lain-lain.

Oleh sebab itu diperlukan sekali mengenal konversi kedua sistem satuan tersebut agar dapat mudah beradaptasi terhadap sistem konvensional yang mungkin masih banyak dipakai di dunia industri ataupun satuan SI yang mulai dipakai di beberapa industri baru (lihat Tabel 2.1).

Tabel 2. 1. Konversi satuan (Besari, 1987).

Kuantitas	Satuan SI	<i>British unit</i>
Panjang	m	3,28084 feet
Massa	kg	2,20462 lb
Kecepatan	m/dt	$3,048 \cdot 10^{-1}$ feet/dt
Gaya	Newton (N)	$2,248 \cdot 10^{-1}$ pounds
Tekanan	N/m^2 (pa)	$1,45038 \cdot 10^{-4}$ pounds/in ²
Usaha dan Energi	Jaoule (J)	$7,735 \cdot 10^{-1}$ foot-pounds
Kerapatan	kg m^{-3}	$6,243 \cdot 10^{-2}$ pounds/cubic foot
Volume	m^3	$3,531 \cdot 10^1$ cubic feet
Daya	kilowatt	1,341 horsepower
Kalor	kilojoule	$9,46 \cdot 10^{-1}$ BTU

MUR UPT PERUSTAJAN
IKIP PADANG

BAB 3

GERAK

Pada bab ini akan dijelaskan tentang gerak benda tanpa memperhatikan penyebabnya bergerak benda tersebut, dikenal dengan istilah kinematika (Besari, 1987 : 172). Gerak tersebut akan dibagi atas dua bagian, yaitu : gerak lurus atau disebut juga dengan gerak linear dan gerak melingkar atau disebut juga dengan gerak rotasi.

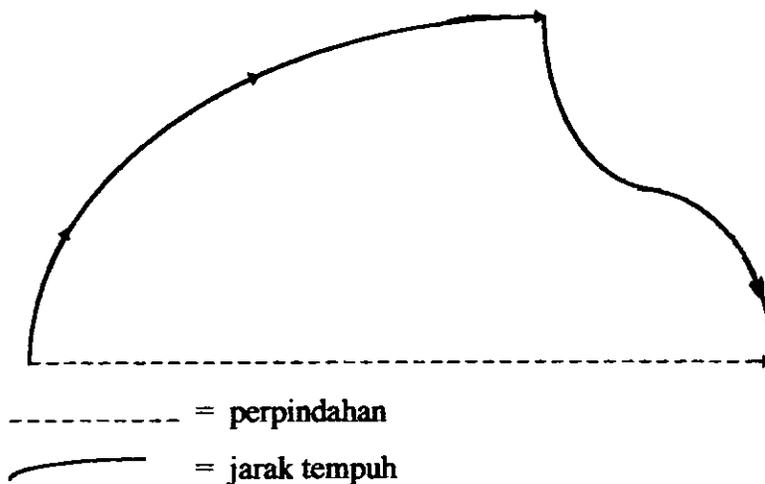
3. 1. Gerak Lurus

Di dalam mempelajari gerak lurus, beberapa hal penting, yaitu: perpindahan, jarak tempuh, kelajuan, kecepatan, percepatan, persamaan gerak lurus dan lain-lain, berikut akan ditinjau satu per satu.

3. 1.1. Perpindahan

Perpindahan merupakan suatu proses dimana benda dari sebuah titik pindah ke titik lain, misalnya sebuah mobil berpindah dari titik A ke titik B, perpindahannya dapat diukur dengan hubungan garis lurus antara posisi titik A dan titik B. Besaran perpindahan adalah AB (lihat Gambar 3. 1), sedangkan arahnya sepanjang garis AB.

Perpindahan merupakan besaran vektor, karena mempunyai besaran dan arah serta berpindah dari titik awal dan berhenti di posisi titik akhir. Oleh sebab itu perlu dibedakan antara perpindahan dan jarak tempuh. Jarak tempuh diukur sepanjang kurva jarak yang ditempuh (lihat Gambar 3.1). Perpindahan (*displacement*) dan jarak tempuh (*distance*) akan berimpit apabila jarak tempuh juga merupakan garis lurus, misalnya dari A ke B seperti Gambar 3.1. Sedangkan jarak tempuh itu sendiri merupakan skalar, karena hanya mempunyai besaran saja tanpa arah .



Gambar 3. 1. Perpindahan dan jarak tempuh

3. 1. 2. Kelajuan

Kelajuan (*speed*) didefinisikan sebagai besaran perubahan jarak pada waktu tertentu. Sedangkan satuan kelajuan, yaitu meter per detik (m/dt) di dalam SI atau km/jam. Sebagai contoh dari kelajuan, yaitu sebuah mobil menempuh jarak 50 km di dalam 1 jam, maka dikatakan kelajuan rata-ratanya 50 km/jam. Kemudian sebuah kendaraan sangat kecil kemungkinan untuk bergerak dengan kelajuan tetap sepanjang waktu. Kenyataan yang terjadi tentang kelajuan tersebut, yaitu dapat menurun atau mandek dari kelajuan rata-rata.

Kelajuan rata-rata sebuah benda didefinisikan sebagai jarak tempuh seluruhnya oleh benda tersebut di dalam waktu tertentu untuk menempuh jarak tersebut. Jika jarak tempuh adalah s meter dalam waktu t detik, maka kelajuan rata-rata, yaitu :

$$V = \frac{s}{t} \quad (3.1)$$

dengan : V = kelajuan rata-rata (m/dt),

s = jarak tempuh (meter),

t = waktu (detik).

kelajuan merupakan besaran skalar, karena harganya tidak bergantung pada arah gerakan, contohnya dengan membaca besarnya kelajuan kendaraan pada speedometer.

3. 1. 3. Kecepatan

Kecepatan (*velocity*) dapat didefinisikan sebagai perubahan jarak di dalam waktu tertentu dan arah tertentu pula. Sebagai contoh sebuah mobil berpindah ke arah utara sejauh 30 km di dalam waktu satu jam, maka dikatakan kecepatan mobil tersebut 30 km/jam ke utara. Dari keterangan tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan adalah kelajuan arah tertentu atau dengan kata lain kecepatan merupakan besaran vektor yang dapat dilukiskan dengan garis lurus untuk menyatakan besarnya dan arahnya.

Kemudian perbedaan antara kelajuan dan kecepatan, akan lebih jelas lagi apabila diperhatikan perubahan kedua besaran tersebut. Kelajuan akan berubah bila angka kilometer/jam pada speedometer juga berubah. Sedangkan kecepatan akan berubah apabila angka kilometer berubah atau arah gerakan berubah, misalnya dari 30 km/jam arah utara menjadi 25 km/jam ke arah barat.

Permasalahan kecepatan ini dapat diformulasikan, yaitu apabila sebuah benda bergerak sejauh s meter pada arah tertentu dalam waktu t detik, maka V merupakan kecepatan rata-rata :

$$V = \frac{s}{t}, \quad (3.2)$$

dengan V = kecepatan (meter/detik) merupakan vektor, tetapi bentuk persamaannya sama dengan persamaan (3.1).

3. 1. 3. 1. Kecepatan Beraturan

Suatu benda dikatakan bergerak beraturan apabila besaran kecepatan tetap selama menempuh jarak yang sama di dalam di dalam waktu yang sama pula dan arah yang sama pula, misalnya:

15 meter pada akhir detik pertama,
 30 meter pada akhir detik ke dua,
 45 meter pada akhir detik ke tiga,
 dan seterusnya.

Kecepatan beraturan dapat ini diformulasikan, apabila sebuah benda bergerak dengan kecepatan tetap (V) di dalam waktu t , maka perpindahan s , yaitu :

$$s = V \cdot t \quad (3.3)$$

3. 1. 3. 2. Kecepatan Variabel

Sebuah benda bergerak dengan kecepatan variabel atau berubah-ubah, apabila benda tersebut menempuh jarak yang tidak sama di dalam waktu yang sama pada arah yang sama. Sebagai contoh, kendaraan bermotor yang mengalami kecepatan berubah-ubah tersebut diperlihatkan oleh gerak dial speedometer yang tidak konstan.

Contoh soal

Sebuah kendaraan bermotor, bergerak dari kota A ke arah Utara sejauh 7,5 km dalam waktu 30 menit, kemudian berbelok ke arah Timur dengan kecepatan konstan 30 km/jam selama 20 menit. Kendaraan tersebut berbelok lagi dengan arah 30° ke arah Tenggara dengan kecepatan 90 km/jam, selama 10 menit untuk sampai ke kota B. Hitung :

- kecepatan rata-rata di dalam km/jam ketika bergerak ke arah Utara,
- jarak total yang ditempuh,

- c. kecepatan rata-rata (km/jam) selama perjalanan,
 d. jarak langsung dari kota A ke kota B.

Penyelesaian :

- a. kecepatan kendaraan ketika bergerak ke arah Utara,

$$= \text{jarak tempuh} / \text{waktu},$$

$$= \frac{7,5 \times 60}{30},$$

$$= 15 \text{ km/jam},$$

- b. jarak yang ditempuh ke arah Timur selama 20 menit, yaitu :

$$s = V \cdot t,$$

$$= 30 \text{ km/jam} \cdot (20/60 \text{ jam}),$$

$$= 10 \text{ km},$$

jarak yang ditempuh 30° ke arah Tenggara selama 10 menit, yaitu :

$$s = 90 \text{ km/jam} \cdot (10/60 \text{ jam}),$$

$$= 15 \text{ km},$$

jarak total yang ditempuh, yaitu :

$$s \text{ total} = 7,5 + 10 + 15,$$

$$= 32,5 \text{ km},$$

- c. waktu tempuh selama perjalanan, yaitu :

$$t \text{ total} = 30 + 20 + 10,$$

$$= 60 \text{ menit (1 jam)},$$

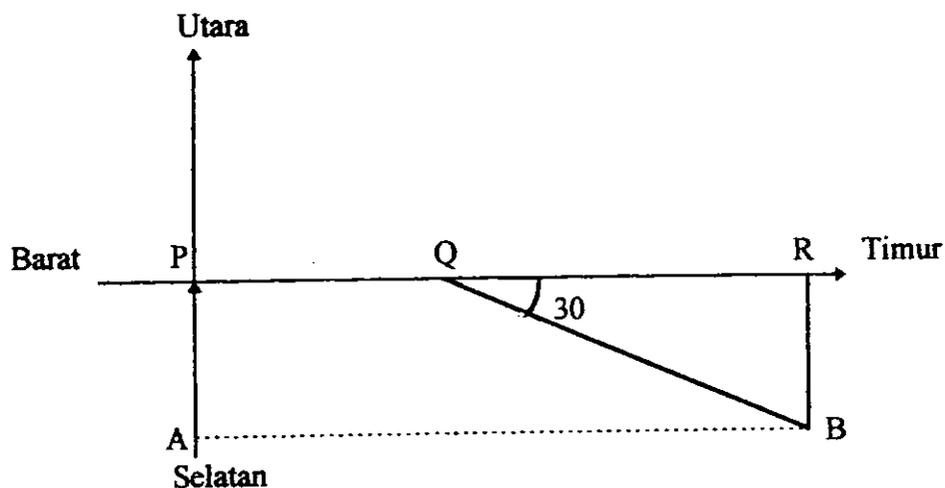
kecepatan rata-rata selama perjalanan, yaitu :

$V \text{ rata-rata} = \text{jarak yang ditempuh seluruhnya} / \text{waktu tempuh seluruhnya},$

$$= 32,5 / 1,$$

$$= 32,5 \text{ km/jam},$$

MILIK DPT PERPUSTAKAAN
 IKIP PADANG



$$AP = 7,5 \text{ km}, PQ = 10 \text{ km}, QB = 15 \text{ km},$$

Gambar 3. 2. Grafik kecepatan variabel

d. Lihat Gambar 3. 2,

dari ΔBQR ,

$$\begin{aligned} BR &= BQ \sin 30, \\ &= 15 \cdot 0,5 = 7,5 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jarak } QR &= BQ \cos 30, \\ &= 15 \cdot 0.866, \\ &= 13 \text{ km}, \end{aligned}$$

jarak langsung antara A dan B, yaitu :

$$\begin{aligned} &= PQ + QR, \\ &= 10 + 13, \\ &= 23 \text{ km}. \end{aligned}$$

3. 1. 4. Percepatan

Jika kecepatan sebuah benda berubah, berarti benda tersebut mengalami percepatan. Percepatan didefinisikan sebagai besarnya perubahan kecepatan pada waktu tertentu, jika perubahan cenderung konstan, maka percepatan tersebut

dikatakan uniform (tetap). Dengan kata lain kecepatan dihubungkan dengan pertambahan kecepatan, jika kecepatan tersebut menurun dikatakan perlambatan.

Sebagai contoh terjadi percepatan dari suatu benda: misalkan, sebuah kendaraan bergerak di jalan raya lurus mengalami perubahan kecepatan dari 1 m/dt, 2,5 m/dt, 4 m/dt dan seterusnya. Hal ini berarti kecepatan kendaraan bertambah secara tetap, yaitu 1,5 m/dt setiap detik atau lebih umum dikatakan kendaraan mengalami pertambahan kecepatan 1,5 m/dt.

Percepatan suatu benda dapat diformulasikan sebagai berikut, yaitu :

$$a = \frac{dV}{dt} \quad , \quad (3.4)$$

dengan : a = percepatan benda (m/dt²),

dV = perubahan kecepatan (m/dt),

dt = perubahan waktu (detik).

Contoh soal

1. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan 36 km/jam, dipercepat beraturan sehingga kecepatannya menjadi 108 km/jam di dalam 16 detik. Tentukan percepatan benda tersebut.

Penyelesaian :

$$\text{kecepatan awal} = 36 \text{ km/jam},$$

$$= 36 \cdot 5/18,$$

$$= 10 \text{ m/dt},$$

$$\text{kecepatan akhir} = 108 \cdot 5/18,$$

$$= 30 \text{ m/dt},$$

jadi percepatan (a) = (kecepatan akhir - kecepatan awal) / waktu,

$$= (30 - 10) / 16,$$

$$= 1,25 \text{ m/dt}^2,$$

2. Sebanyak tiga foot telegraph, A, B dan C terletak dipinggir jalan, jarak $AB=BC=50\text{m}$. Sebuah sepeda motor berjalan dengan percepatan beraturan melewati pos A sampai ke pos B setelah 8 detik dan 7 detik untuk sampai di pos C dari pos B. Hitung percepatan sepeda motor dan kecepatan pada A dan B.

Penyelesaian :

kecepatan rata-rata sepeda motor untuk menempuh pos A ke pos B (lihat Gambar 3.3),

$$\begin{aligned} V \text{ rata-rata} &= \text{jarak AB} / \text{waktu}, \\ &= 50/8, \\ &= 6,25 \text{ m/dt}, \end{aligned}$$

ini terjadi di titik x, setelah 4 detik dari A,

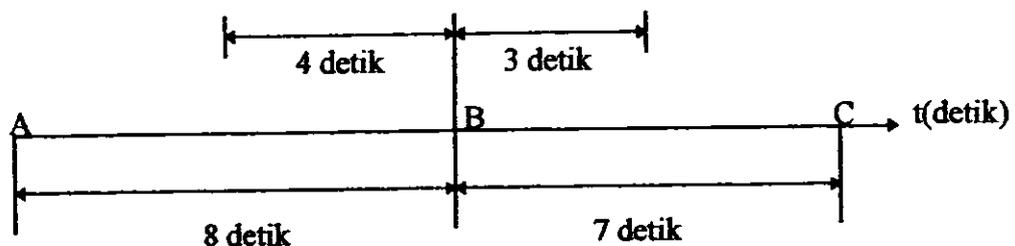
kecepatan rata-rata ketika menempuh jarak dari B ke C (lihat Gambar 3.3),

$$\begin{aligned} V \text{ rata-rata} &= \text{jarak BC} / \text{waktu}, \\ &= 50/7, \\ &= 7,14 \text{ m/dt}, \end{aligned}$$

ini terjadi di titik dititik y, setelah 3,5 detik dari B,

percepatan sepeda motor, yaitu :

$$\begin{aligned} a &= (\text{perubahan kecepatan dari x ke y}) / (\text{waktu dari x ke y}), \\ &= \frac{7,14 - 6,25}{4 + 3,5}, \\ &= 0,12 \text{ m/dt}^2, \end{aligned}$$



Gambar 3. 3. Grafik waktu

K1
17 521.112
HEN
k₂

850/K/197-K₂ (2)

perubahan kecepatan dalam 4 detik, yaitu :

$$\begin{aligned} &= \text{percepatan} \times \text{waktu}, \\ &= 0,12 \cdot 4, \\ &= 0,48 \text{ m/dt}, \end{aligned}$$

kecepatan di titik A, yaitu :

$$\begin{aligned} V_A &= \text{kecepatan di } x - 0,48, \\ &= 6,25 - 0,48, \\ &= 5,77 \text{ m/dt}, \end{aligned}$$

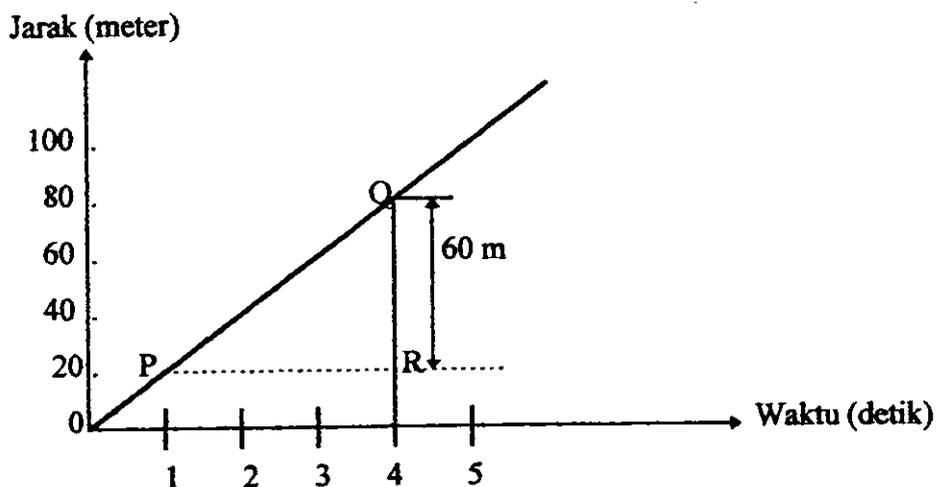
kecepatan di titik B, yaitu :

$$\begin{aligned} V_B &= \text{kecepatan di } x + 0,48, \\ &= 6,25 + 0,48, \\ &= 6,73 \text{ m/dt}. \end{aligned}$$

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

3. 1. 5. Grafik Jarak dan Waktu

Jarak yang ditempuh di dalam satuan waktu dapat dilukiskan dengan grafik. Grafik yang dihasilkan merupakan garis lurus, apabila benda bergerak dengan kecepatan konstan, besar pertambahan jarak sebanding dengan waktu.



Gambar 3. 4. Grafik jarak dan waktu

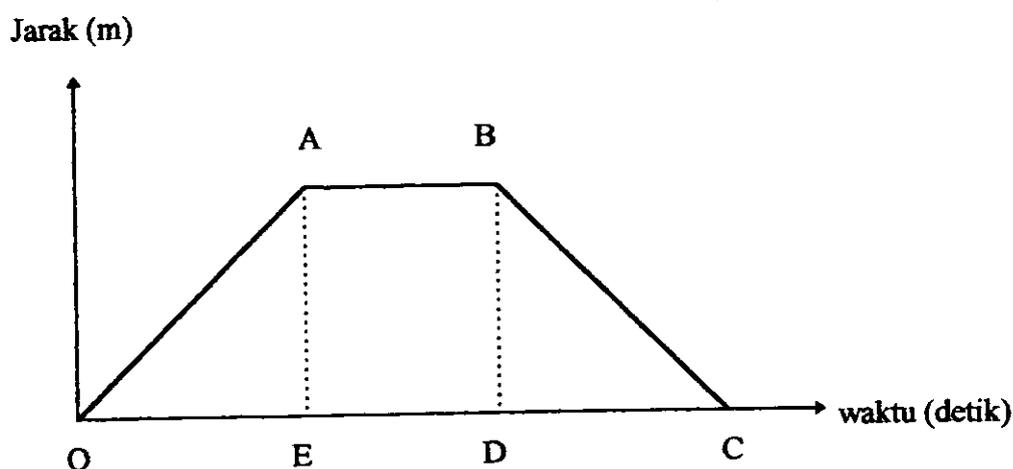
Misalkan benda bergerak dengan kecepatan tetap 20 m/dt pada arah tertentu, jarak yang ditempuh oleh benda adalah 20 meter pada akhir detik pertama, 40 meter pada detik kedua, 60 meter pada detik ketiga dan seterusnya. Grafik jarak dan waktu dapat dilukiskan seperti pada Gambar 3. 4.

Jika PQ dikatakan sebagai grafik lurus, maka panjang PR dan QR dapat diukur sesuai dengan skalanya, hasil dari OR/PR merupakan besarnya kecepatan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{kecepatan (V)} &= \text{jarak QR} / \text{waktu PR} , & (3.5) \\ &= 60/3 \text{ (m/dt)}, \\ &= 20 \text{ m/dt}. \end{aligned}$$

Dari hasil di atas dapat disimpulkan, apabila grafik jarak dan waktu berupa garis lurus, maka gerakan yang terjadi adalah kecepatan selaras sedangkan perbandingan QR/PR merupakan besarnya kecepatan tersebut.

Kemudian grafik jarak dan waktu dapat terdiri dari 2 atau lebih garis lurus (lihat Gambar 3.5), dapat disimpulkan bahwa suatu benda akan bergerak pada arah tertentu dengan kecepatan selaras selama waktu tertentu.



Gambar 3. 5. Grafik jarak dan waktu

Gambar 3.5 melukiskan grafik kecepatan dan waktu pada kondisi seperti berikut :

OA = menggambarkan gerak lurus kecepatan konstan,

AB = tiada gerak,

BC = gerak kembali ke tempat semula.

3. 1. 6. Grafik Kecepatan dan Waktu

Di dalam melukiskan grafik kecepatan dan waktu untuk gerak dengan kecepatan selaras, maka garis lurus yang sejajar pada sumbu horizontal (waktu) akan diperoleh dengan syarat kecepatan tidak berubah.

Pada Gambar 3. 6 melukiskan grafik kecepatan dan waktu untuk kecepatan selaras 20 m/dt:

$$\begin{aligned} \text{Luas segi empat OABC} &= OA \times OC, \\ &= 20 \text{ m/dt} \cdot 5 \text{ detik}, \\ &= 100 \text{ meter}, \end{aligned}$$

jadi Gambar 3.5 tersebut melukiskan jarak yang ditempuh di dalam waktu 5 detik adalah 100 meter.

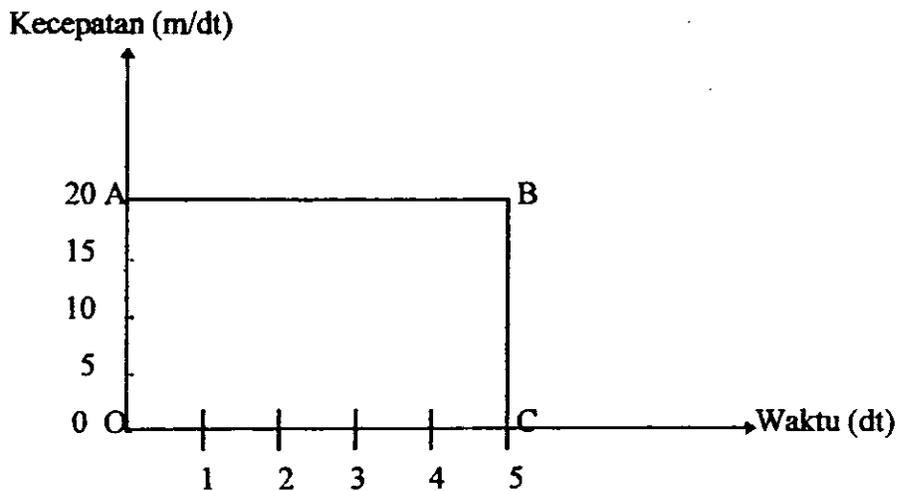
Apabila kecepatan bertambah secara beraturan, maka terjadi percepatan selaras, misalnya suatu kendaraan menempuh jalan raya dengan kecepatan 20 m/dt, jika percepatan selaras dan konstan sebesar 2 m/dt², mengakibatkan kecepatan kendaran menjadi (lihat Gambar 3.6) :

22 m/dt pada akhir detik pertama,

24 m/dt pada akhir detik kedua,

26 m/dt pada akhir ketiga,

dan seterusnya.



Gambar 3. 6. Grafik kecepatan selaras dan waktu

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.7 grafik kecepatan dan waktu berupa garis lurus. Percepatan dapat dibaca dengan menghitung slope dari garis lurus tersebut, misalnya diambil titik X dan Y, maka perbandingan antara YX dengan XZ menunjukkan percepatan yang terjadi, yaitu :

$$\text{Percepatan} = \text{YZ} / \text{XZ} \quad (3.6)$$

dengan : YZ = pertambahan kecepatan,

XZ = waktu yang diperlukan di dalam pertambahan kecepatan,

$$a = 4 / 2 \text{ (dari slope pada Gambar 3.7),}$$

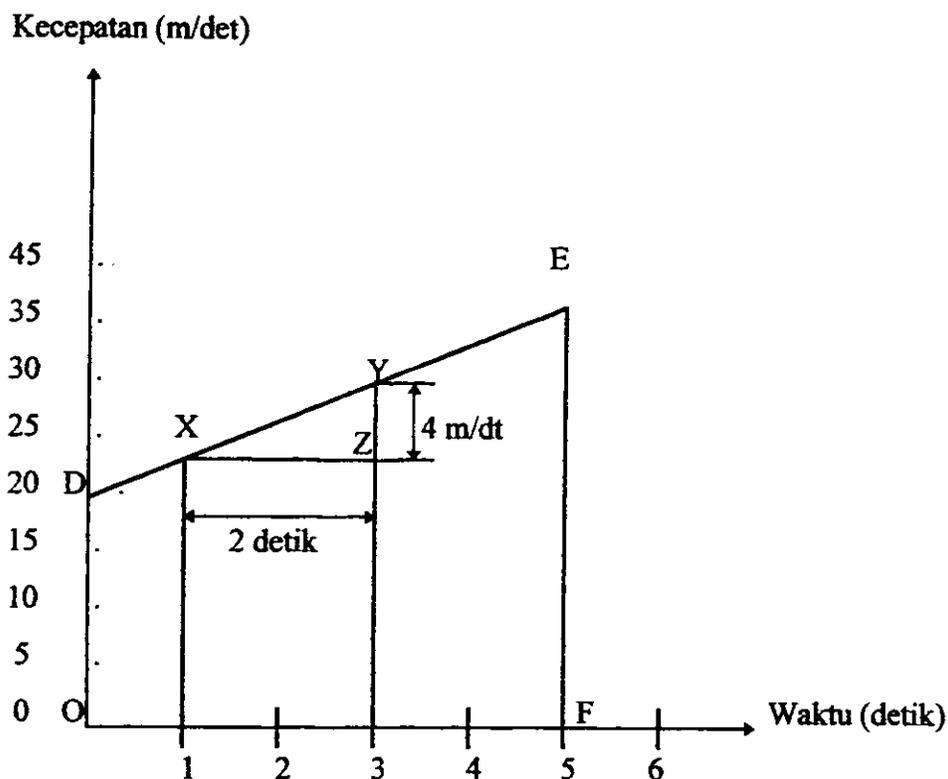
$$= 2 \text{ m/dt,}$$

kemudian jarak yang ditempuh selama 5 detik (lihat Gambar 3.7), yaitu :

$$\begin{aligned} \text{luas trapesium ODEF} &= \left(\frac{\text{OD} + \text{FE}}{2} \right) \times \text{OF}, \\ &= \left(\frac{20 + 30}{2} \text{ m / dt} \right) 5 \text{ detik,} \end{aligned}$$

$$= 125 \text{ meter,}$$

jadi luas trapesium ODEF sebesar 125 meter tersebut menunjukkan jarak yang ditempuh oleh kendaraan.

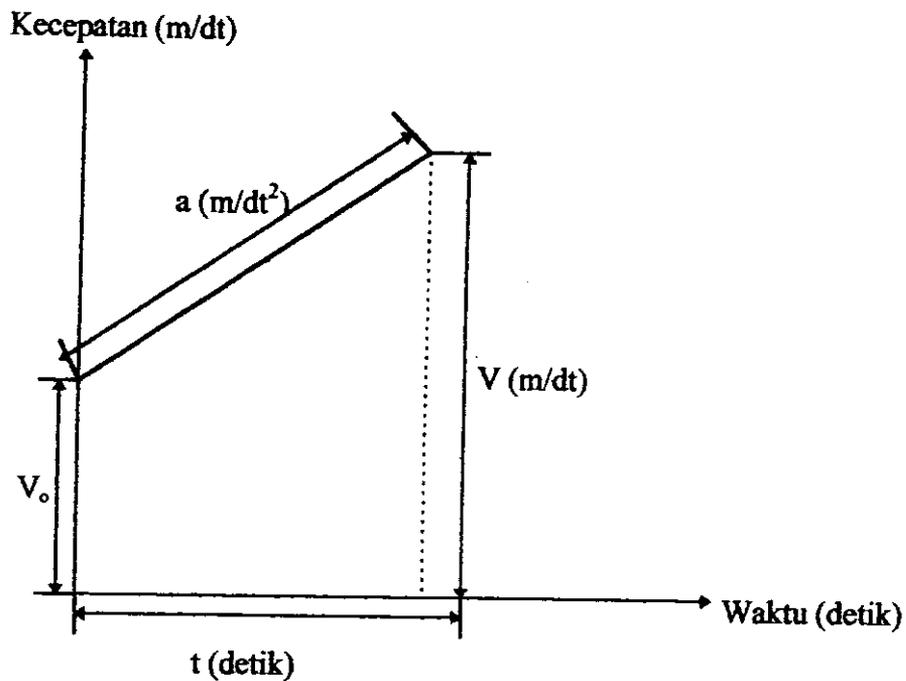


Gambar 3. 7. Grafik kecepatan bertambah secara beraturan dan waktu

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan semua hal bagaimana ruwetnya perubahan kecepatan, jarak tempuh, bentuk gerak di dalam priode waktu tertentu dapat ditunjukkan dengan luas yang terdapat pada grafik kecepatan waktu.

3. 1. 7. Persamaan Gerak Lurus

Persamaan gerak lurus yang berhubungan dengan jarak, kecepatan, percepatan dan waktu, hal ini yang dibicarakan lebih banyak di dalam gerak lurus yang beraturan, bentuknya dapat ditulis seperti berikut (lihat Gambar 3.8), yaitu dengan memakai slop grafik kecepatan dan waktu:



Gambar 3. 8. Slop grafik kecepatan dan waktu

Simbul-simbul yang digunakan di dalam persamaan gerak lurus, yaitu :

s = jarak tempuh (meter)

t = waktu (detik)

V_0 = kecepatan awal (m/detik)

V = kecepatan akhir (m/detik)

a = percepatan (m/detik²)

Percepatan = perubahan kecepatan/waktu,

$$a = \frac{V - V_0}{t},$$

$$a.t = V - V_0,$$

$$V = V_0 + a.t,$$

(3.7)

luas daerah grafik menunjukkan jarak tempuh (lihat Gambar 3.8), yaitu:

$$\text{Luas} = \left(\frac{OA + BC}{2} \right) \times OC,$$

$$s = \left(\frac{V_0 + V}{2} \right) \cdot t,$$

$$s = \left(\frac{V_0 + V_0 + at}{2} \right) \cdot t,$$

$$s = V_0 \cdot t + 1/2 a \cdot t^2. \quad (3.8)$$

Dapat ditulis persamaan ini lebih jauh lagi dengan mengkuadratkan kedua sisi kemudian disubstitusikan ke persamaan (3.8), diperoleh, yaitu :

$$V^2 = (V_0 + at)^2,$$

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot V_0 \cdot at + (at)^2,$$

$$= V_0^2 + 2 \cdot a \cdot (V_0 + 1/2 \cdot a \cdot t^2),$$

$$= V_0^2 + 2 \cdot a \cdot s,$$

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot s, \quad (3.9)$$

harga a akan positif bila dipercepat dan negatif bila diperlambat.

Contoh soal

1. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 36 km/jam dari keadaan diam, setelah 5 detik gigi mobil tersebut ditukar sehingga pada 5 detik berikutnya kecepatan mobil menjadi 108 km/jam, kemudian mobil tersebut di rem dan mobil berhenti pada jarak 75 m.

Hitunglah :

- a. percepatan mobil pada setiap pertukaran gigi,
- b. perlambatan,
- c. waktu total yang diperlukan.

Penyelesaian :

a. Kecepatan awal $V_0 = 0$,

kecepatan akhir $V = 36 \text{ km/jam} = 10 \text{ m/detik}$

waktu $t = 5 \text{ detik}$

percepatan $a = ?$

$$V = V_0 + a \cdot t,$$

$$a = (V - V_0) / (t),$$

$$= (10 - 0) / 5,$$

$$= 2 \text{ m/detik}^2,$$

pada gigi kedua : kecepatan awal $V_0 = 10 \text{ m/detik}^2$,

kecepatan akhir $V = 108 \text{ km/jam}$,

$= 30 \text{ m/detik}$,

waktu = 5 detik,

$a = ?$

$$a = (V - V_0) / t,$$

$$= (30 - 10) / 5,$$

$$= 4 \text{ m/detik}^2.$$

b. $V_0 = 30 \text{ m/detik}$,

$V = 0$ (mobil berhenti),

jarak yang ditempuh (S) = 75 m,

$t = \dots\dots\dots$,

$a = \dots\dots\dots$,

waktu pengereman :

$$s = \left(\frac{V_0 + V}{2} \right) \cdot t,$$

$$75 = \left(\frac{30 + 0}{2} \right) \cdot t,$$

$$15 \cdot t = 75,$$

$$t = 5 \text{ detik},$$

maka perlambatan yang terjadi adalah :

$$V^2 - V_0^2 = 2 \cdot a \cdot S,$$

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot s},$$

$$= \frac{0^2 - 30^2}{2 \cdot 75},$$

$$= (-100)/150,$$

$$= -6 \text{ m/dt}^2.$$

c. Total waktu = waktu pada gigi pertama + waktu gigi kedua + waktu pengeraman,

$$= (5 + 5 + 5) \text{ detik},$$

$$= 15 \text{ detik}.$$

2. Hitunglah waktu yang dibutuhkan suatu benda untuk mencapai jarak 0,8 km, jika kecepatan awal 10 m/dt dengan percepatan beraturan 3 m/dt².

Penyelesaian :

Kecepatan awal = 10 m/detik,

percepatan a = 3 m/detik²,

jarak S = 0,8 km = 800 m,

$$s = V_0 t + 1/2 \cdot a t^2,$$

$$800 = 10 t + 1/2 \cdot 3 t^2,$$

$$1,5 t^2 + 10 t - 800 = 0,$$

perhitungan ini diselesaikan dengan persamaan kuadrat, yaitu :

$$t = \frac{-10 + \sqrt{(10^2 + (4 \cdot 1,5 \cdot 800))}}{2 \cdot 1,5},$$

$$t = 20 \text{ detik},$$

waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 0,8 km adalah 20 detik.

3. 1. 8. Benda Jatuh Bebas

Apabila sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian tertentu, maka kecepatan benda tersebut akan bertambah, hal ini disebabkan pengaruh dari gaya tarik menarik antara benda dengan bumi. Tarikan yang dialami benda mengarah ke pusat bumi, disebut juga dengan gaya gravitasi.

Melalui eksperimen hal-hal ini telah dibuktikan, bahwa seluruh benda yang berbentuk seperti apapun juga akan jatuh mengarah ke pusat bumi dengan percepatan yang sama bila tidak ada gerakan yang menahannya. Percepatan benda jatuh ini merupakan percepatan uniform dan lazim disebut percepatan gravitasi dengan simbol g .

Seperti yang diketahui bahwa bumi tidak bulat sempurna dengan radiusnya lebih kecil pada bagian kutub Utara dan Selatan serta bagian Katulistiwa, sehingga besarnya percepatan gravitasi sedikit bervariasi pada tempat-tempat di permukaan bumi. Pada permukaan laut harga gravitasi (g) sama dengan $9,81 \text{ m/dt}^2$, di katulistiwa harganya sekitar $9,78 \text{ m/dt}^2$, sedangkan di daerah kutub harganya $9,832 \text{ m/dt}^2$.

Persamaan gerak lurus dapat dipakai untuk menentukan persamaan gerak benda jatuh bebas sebagai gerak dipercepat beraturan di bawah pengaruh gravitasi dengan mengabaikan tahanan udara. Jika h adalah tingi jatuh benda di dalam waktu t , sehingga kecepatan V benda dapat ditentukan dengan mengubah parameter-parameter persamaan gerak lurus seperti s dengan h dan a dengan g , sedangkan kecepatan awal V_0 sama dengan nol, diperoleh :

$$V = g \cdot t \quad , \quad (3.10)$$

$$h = 1/2 \cdot V \cdot t \quad , \quad (3.11)$$

$$h = 1/2 \cdot g \cdot t^2 \quad , \quad (3.12)$$

$$V^2 = 2 \cdot g \cdot h \quad \text{atau} \quad V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3.13)$$

Contoh soal

- a. Hitunglah lamanya sebuah benda untuk mencapai tanah, jika dijatuhkan bebas dari ketinggian 490,5 meter.
- b. Berapakah kecepatan benda tersebut ketika bertumbukan dengan tanah (harga $g = 9,81 \text{ m/dt}^2$).

Penyelesaian :

a. $h = 490,5 \text{ m}$,
 $h = 1/2 g \cdot t^2$,

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 490,5 \text{ dt}^2 \cdot \text{m}}{9,81 \text{ m}}}$$

$$= 10 \text{ detik}$$

b. $V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$,

$$= \sqrt{2 \times 9,81 \times 490,5}$$

$$= 9,81 \text{ m/dt}$$

3. 2. Gerak Melingkar

Di samping gerak lurus ada gerak melingkar (rotasi), gerak ini merupakan gerak mekanik yang sering dijumpai di dalam suatu peralatan mesin, motor, mesin produksi dan lain-lain. Misalnya gerak lurus torak diubah menjadi gerak melingkar engkol melalui suatu sistem transmisi diakhiri dengan gerak putar roda yang berjalan sepanjang jalan raya.

Selanjutnya akan dijelaskan beberapa kaedah dan rumusan pada gerak melingkar ini, yaitu :

3. 2. 1. Perpindahan Sudut

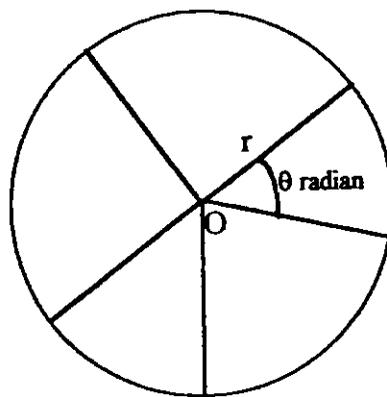
Kecepatan suatu komponen berputar, misalnya poros mesin, biasanya diungkapkan dalam revolusi per menit (RPM), tetapi hal-hal yang berhubungan dengan gerak melingkar seperti perpindahan sudut (*angular displacement*) lebih sering digunakan istilah radian per detik.

Radian disingkat dengan rad, merupakan satuan dasar untuk perpindahan sudut dan didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk pada pusat lingkaran oleh suatu arcus, yang panjang sama dengan jari-jari lingkaran (lihat Gambar 3. 9). Panjang arcus untuk satu revolusi adalah keliling lingkaran $2\pi r$. Dengan demikian sudut satu radian berhubungan dengan satu revolusi, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{panjang arcus} &= (\text{panjang keliling lingkaran}) / \text{jari-jari lingkaran}, \\ &= (2 \cdot \pi \cdot r) / r, \\ &= 2\pi \text{ radian}, \end{aligned}$$

bila satu revolusi = 360° , maka :

$$\begin{aligned} 2\pi \text{ radian} &= 360^\circ, \\ 1 \text{ radian} &= 360 / 2\pi, \\ &= 57,3^\circ. \end{aligned}$$



Gambar 3. 9. Gerak melingkar

Jika s sebagai panjang arcus dengan sudut θ radian pada pusat lingkaran yang berjari-jari r (lihat Gambar 3. 9), maka:

$$\theta = s / r \text{ radian atau,}$$

$$s = r \cdot \theta . \quad (3.14)$$

Contoh soal

Sebuah roda bergaris tengah (diameter) 560 mm, berputar dengan sudut 60° . Hitung jarak perpindahan dalam meter.

Penyelesaian :

Konversikan sudut 60° dalam radian, yaitu :

$$\theta = 60 \times (2\pi/360),$$

$$= \pi/3,$$

jarak perpindahan (s) = $r \cdot \theta$,

$$= (560/2) \times (22/27),$$

$$= 293 \text{ mm.}$$

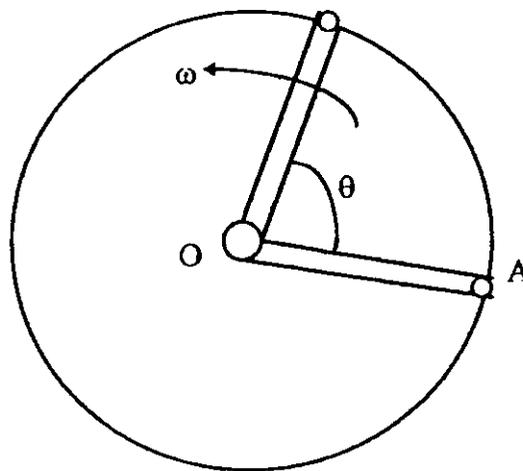
3.2.2. Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut didefinisikan sebagai besaran perpindahan sudut pada absis dalam waktu tertentu dan disimbulkan dalam huruf Yunani ω (omega) dengan satuan radian per detik.

Batang OA berputar berlawanan arah jarum jam pada titik pusat (lihat Gambar 3.10). Jika batang tersebut memerlukan waktu selama t detik untuk berputar melalui sudut θ radian, maka batang mempunyai kecepatan sudut, yaitu :

Kecepatan sudut rata-rata = berputaran sudut / waktu,

$$\omega = \theta / t \text{ (rad/dt),} \quad (3.15)$$



Gambar 3. 10. Kecepatan sudut

jika harga ω tetap, maka batang OA berputar melalui sudut yang sama dalam waktu yang sama pula.

Konversi satuan untuk kecepatan sudut, yaitu satuan revolusi per menit menjadi radian per detik. Misalnya batang OA diputar dengan kecepatan tetap, N Rpm, sehingga :

$$\text{Jumlah revolusi per detik} = N / 60,$$

sedangkan batang berputar 2π radian di dalam revolusi, maka :

$$\text{kecepatan sudut } (\omega) = 2\pi \times \frac{N}{60} \text{ rad/dt},$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \text{ rad/dt} . \quad (3.16)$$

Contoh soal

Sebuah pulli dinamo sedang berputar dengan kecepatan sudut 220 rad/dt. Hitung kecepatan di dalam Rpm.

Penyelesaian :

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \text{ rad/dt},$$

$$N = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} \text{ rev/menit},$$

$$= (60 \cdot 220 \cdot 7) / (2 \cdot 22),$$

$$= 2100 \text{ Rpm}.$$

3. 2. 3. Percepatan Sudut

Percepatan merupakan besaran perubahan kecepatan sudut di dalam waktu tertentu. Simbul yang umum dipergunakan pada percepatan sudut adalah α dengan satuan radian perdetik kuadrat (rad/dt^2).

Jika sebuah benda bergerak dengan kecepatan sudut tertentu bergerak di dalam lingkaran, berubah dari ω_1 rad/dt menjadi ω_2 rad/dt dalam waktu t detik, percepatan rata-rata dapat dituliskan sebagai berikut, yaitu :

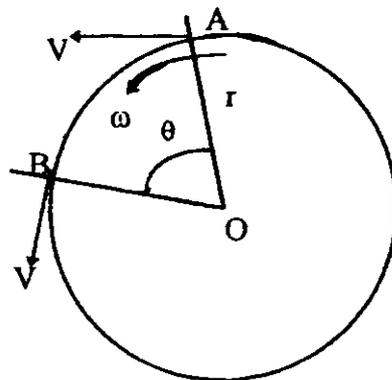
$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} \quad (3. 17)$$

Sama halnya dengan percepatan gerak lurus, maka harga percepatan sudut juga dapat positif atau negatif tergantung dari hasilnya apakah bertambah atau berkurang.

3. 2. 4. Hubungan antara Gerak Lurus dan Gerak Melingkar

Jika sebuah titik pada tepi sebuah roda gila yang berjari-jari r , bergerak dengan kecepatan sudut beraturan ω rad/dt (lihat Gambar 3. 11). Kecepatan V pada setiap saat (*instant*) atau disebut juga kecepatan sesaat torus (*instant torus*), dihitung sebagai kecepatan V yang selalu mengarah sepanjang tangen bagian tepi roda gila. Kemudian pada waktu t detik, jari-jari OA berputar melalui sudut θ , sebesar :

$$\theta = \omega \cdot t,$$



Gambar 3. 11. Hubungan kecepatan sudut dengan kecepatan gerak lurus

dengan kondisi ini, titik akan berpindah melalui arcus AB, yaitu :

$$s = r \cdot \theta,$$

$$= r \cdot \omega \cdot t,$$

kecepatan gerak lurus dari titik tersebut pada tepi roda gila adalah :

kecepatan = (jarak waktu ditempuh) / waktu,

$$V = (r \cdot \omega \cdot t) / t ,$$

$$V = r \cdot \omega , \tag{3.18}$$

satuan yang digunakan untuk menyelesaikan hal ini adalah, jika kecepatan sudut ω dalam rad/dt dan r dalam meter, maka kecepatan gerak lurus V akan menjadi meter/detik.

Proses mencari hubungan antara kecepatan sudut dengan kecepatan gerak lurus, juga dipakai untuk mencari hubungan antara percepatan gerak lurus dengan percepatan sudut. Jika roda gila sedang berputar dengan percepatan α (rad/dt²), yaitu :

Percepatan gerak lurus a = percepatan sudut α dikali jari-jari,

$$a = \alpha \cdot r . \tag{3.19}$$

Contoh soal

1. Sebuah mesin gerinda berdiameter 200 mm, berputar 2100 Rpm. Hitunglah kecepatan mesin gerinda dalam meter/detik.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi \cdot N}{60} \text{ rad/dt,} \\ &= \frac{2\pi \cdot 2100}{60}, \\ &= 220 \text{ rad/dt,}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= \omega \cdot r, \\ &= 220 \cdot (200/2), \\ &= 220 \text{ m/dt.}\end{aligned}$$

2. Sebuah truk menambah kecepatan beraturan dari 50 Rpm menjadi 1100 Rpm dalam 40 detik. Hitunglah percepatan sudut roda truk tersebut dalam rad/dt², jika diameter roda 700 mm dan percepatan gerak lurus pada ban truk tersebut.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}\text{kecepatan sudut awal } (\omega_1) &= 50 \cdot (2\pi/60), \\ &= 5\pi / 3 \text{ rad/dt,}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{kecepatan sudut akhir } (\omega_2) &= 1100 (2\pi/60), \\ &= 110 \pi / 3 \text{ rad/dt,}\end{aligned}$$

percepatan sudut tersebut, yaitu :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} \text{ rad/dt}^2, \\ &= \left(\frac{110\pi}{3} - \frac{5\pi}{3} \right) \times (1/40),\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (105 \pi) / (3 \cdot 40), \\
 &= 2,75 \text{ rad/dt}^2,
 \end{aligned}$$

maka percepatan gerak lurus menjadi,

$$\begin{aligned}
 a &= \alpha \cdot r, \\
 &= 2,75 \times (700/2100), \\
 &= 0,965 \text{ m/dt}^2.
 \end{aligned}$$

3. 2. 5. Persamaan-Persamaan Gerak Melingkar

Persamaan-persamaan gerak melingkar dengan percepatan konstan, umumnya sejalan dengan rumusan untuk persamaan gerak lurus, yaitu :

$$\omega_2 = \omega + \alpha \cdot t \quad , \quad (3.20)$$

$$\theta = \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right) \cdot t \quad , \quad (3.21)$$

$$\theta = \omega_1 \cdot t + 1/2 \cdot \alpha \cdot t^2 \quad , \quad (3.22)$$

$$\omega_2^2 = \omega_1^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \theta \quad . \quad (3.23)$$

Contoh soal

Sebuah roda dalam keadaan diam, dipercepat selama 60 detik dengan percepatan sudut $2,2 \text{ rad/dt}^2$, kemudian diperlambat sampai roda tersebut berhenti dalam waktu 80 detik. Hitunglah :

- a. kecepatan sudut maksimum,
- b. perlambatan,
- c. jumlah putaran roda.

Penyelesaian :

Selama percepatan beraturan,

kecepatan sudut awal (ω_1) = 0,

kecepatan sudut akhir (ω_2) = ?,

percepatan sudut (α) = 2,2 rad/det²,

waktu (t) = 60 detik.

jarak tempuh sudut (θ) = ?,

$$\begin{aligned}\omega_2 &= \omega + \alpha \cdot t, \\ &= 0 + 2,2 \cdot 60 \text{ rad/dt}, \\ &= 132 \text{ rad/dt},\end{aligned}$$

kecepatan sudut maksimum = 132 rad/det.

Sekarang :

$$\begin{aligned}\theta &= \omega_1 \cdot t + 1/2 \cdot \alpha \cdot t^2 \\ &= 0 + 1/2 \cdot 2,2 (60)^2, \\ &= 3960 \text{ rad},\end{aligned}$$

jumlah putaran yang dibuat roda selama percepatan sudut, yaitu :

$$\begin{aligned}N &= \theta / 2\pi, \\ &= (3600/2) \times (7/22), \\ &= 630 \text{ revolusi},\end{aligned}$$

selama perlambatan,

kecepatan sudut awal (ω_1) = 132 rad/dt,

kecepatan sudut akhir (ω_2) = 0,

waktu (t) = 80 detik,

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} \text{ rad/dt}^2,$$

$$= \frac{0 - 132}{80},$$

$$= -1,65,$$

jadi perlambatan sudut $1,65 \text{ rad/dt}^2$,

$$\theta = \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right) \cdot t,$$

$$= \left(\frac{132 + 0}{2} \right) \cdot 80,$$

$$= 5280 \text{ rad},$$

jumlah putaran yang dibuat roda selama perlambatan, yaitu :

$$N = \theta / 2\pi,$$

$$= (5280/2) \times (7/22),$$

$$= 840 \text{ revolusi},$$

jadi jumlah putaran yang dibuat roda selama 140 detik adalah :

$$N \text{ total} = 630 + 840,$$

$$= 1470.$$

3. 2. 6. Percepatan Centripetal

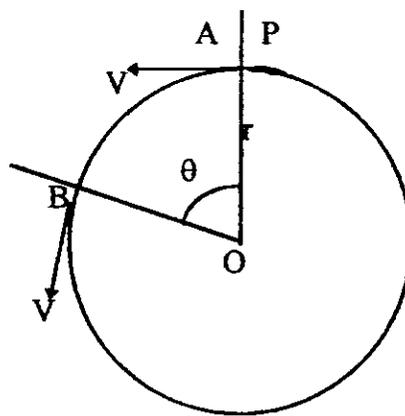
Jika sebuah titik bergerak dengan kelajuan tetap pada keliling lingkaran, maka arahnya cenderung selalu berubah, akibatnya kelajuannya konstan sedangkan kecepataannya berubah dengan kata lain titik tersebut mempunyai percepatan.

Misalnya titik P (lihat Gambar 3. 12a), titik bergerak pada keliling lingkaran berjari-jari r dengan kelajuan V , maka titik berpindah melalui sudut yang sangat kecil θ , sehingga terbentuk arcus AB dalam waktu t detik. Jika θ adalah sudut yang kecil, maka perbedaan antara garis AB dengan arcus AB dapat diabaikan. Hal ini mengakibatkan jarak yang ditempuh P dalam t detik adalah :

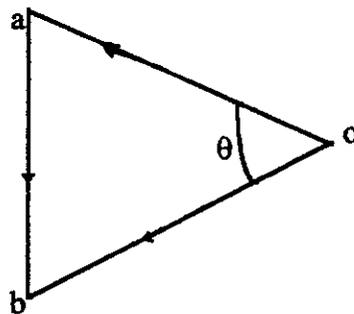
$$\theta = AB,$$

$$= V \cdot t.$$

Kemudian titik O, lukisan vektor O yang tegak lurus pada OA dan sama dengan V , hal ini menunjukkan kecepatan tangensial titik P pada A dari titik O . Selanjutnya lukisan vektor O yang tegak lurus dengan OB dan sama dengan V . Hubungan antara a dan b dari diagram kecepatan (lihat Gambar 3.12b). Perubahan kecepatan titik P di dalam perpindahan dari A ke B selama t detik ditunjukkan oleh vektor ab . Vektor ab mengarah ke pusat lingkaran O , jika θ sangat kecil kecil, maka segitiga AOB sama dengan aob .



(a)



(b)

Gambar 3. 12. (a) Gaya centripetal dan (b) Diagram kecepatan.

$$\frac{ab}{oa} = \frac{AB}{OA},$$

$$\frac{ab}{V} = \frac{v \cdot t}{r},$$

$$\frac{ab}{t} = \frac{V^2}{r}, \quad (3.24)$$

dengan : ab/t sama dengan perubahan kecepatan per waktu (percepatan),
 harga dari V^2/r menunjukkan percepatan titik P yang mengarah ke pusat lingkaran O.
 Percepatan tersebut dinamakan percepatan radial atau percepatan centripetal.

Jika ω rad/dt adalah kecepatan sudut titik P, maka kecepatan gerak lurus titik P, yaitu :

$$V = \omega \cdot r, \quad (3.25)$$

dari persamaan (3.24) dan (3.25) dapat diformulasikan hubungan kecepatan gerak lurus dengan kecepatan gerak melingkar di dalam percepatan centripetal, yaitu :

$$\frac{V^2}{r} = \omega^2 \cdot r, \quad (3.26)$$

persamaan (3.26) disebut dengan persamaan percepatan centripetal.

Contoh soal

Sebuah motor bensin mempunyai panjang langkah pena dengan porosnya 100 mm. Hitung percepatan centripetal bila mesinnya berputar 1800 Rpm.

Penyelesaian :

kecepatan sudut pena poros (ω) adalah :

MILIK UFT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

$$\omega = (2\pi/60) \cdot 1800,$$

$$= 188,5 \text{ rad/dt},$$

jari-jari poros (r) adalah :

$$r = 1/2 \text{ langkah},$$

$$= (10^{-1}) / 2,$$

$$= 0,05 \text{ m},$$

percepatan centripetal dari motor bensin, yaitu :

$$= \omega^2 \cdot r,$$

$$= (188,5)^2 \cdot 0,05,$$

$$= 1720 \text{ m/dt}^2.$$

3. 3. Soal Latihan

1. Sebuah mobil menempuh jarak 80 km ke arah 20° timur laut, kemudian dilanjutkan 60 km lagi ke arah tenggara. Tentukan secara grafis besar dan arah perpindahan dari titik awal sampai ke titik akhir.

(kunci jawaban : 72,1 km, $23,9^\circ$).

2. Seorang pembalap menempuh jarak 60 km dalam waktu 40 menit, setelah beristirahat selama 5 menit, pembalap tersebut menempuh jarak 40 km dalam waktu 35 menit. Hitung kelajuan rata-rata pembalap tersebut selama perjalanan.

(kunci jawaban : 75 km/jam).

3. Sebuah pesawat udara terbang ke arah Barat menempuh jarak 1000 km di dalam perjalanannya dengan kecepatan 400 km/jam. Berapakah kecepatan rata-rata untuk 600 km selanjutnya, apabila kecepatan rata-rata untuk jarak 1600 km adalah 500 km/jam.

(kunci jawaban : 857 km/jam).

4. Sebuah kerek bergerak dengan kecepatan maksimum 5 m/dt. Hitung perlambatan yang diperlukan agar kerek tersebut berhenti pada jarak 50 meter dan berapa waktu yang dibutuhkan untuk berhenti.

(kunci jawaban : $0,25 \text{ m/dt}^2$, 20 detik).

5. Sebuah mobil bergerak dari keadaan diam, dipercepat beraturan dalam 6 detik supaya kecepatan menjadi 45 km/jam, kemudian mobil tersebut terus bergerak dengan kecepatan tersebut sampai rem digunakan untuk menghentikan mobil dengan perlambatan konstan pada jarak 25 m. Jika waktu seluruhnya 20 detik dari keadaan diam sampai berhenti. Hitunglah :

- jarak yang ditempuh dari keadaan diam sampai kecepatan menjadi 45 km/jam,
- waktu yang diperlukan untuk mengerem sampai berhenti (detik),
- perlambatan (m/dt^2),
- jarak total yang ditempuh (meter).

(kunci jawaban : a. 125 meter, b. 4 detik, c. $3,125 \text{ m/dt}^2$, d. 187 m)

6. Sebuah baut jatuh dari atap sebuah pabrik yang tingginya 10 m dari lantai. Hitung :

- kecepatan baut pada waktu menompa lantai,
- waktu yang dibutuhkan untuk ($9,81 \text{ m/dt}^2$).

(kunci jawaban : a. $14,01 \text{ m/dt}$, b. 1,428 detik).

7. Tali ban penggerak dinamo dan pompa air dihubungkan dengan kerek yang berdiameter 140 mm dengan panjang arcus 176 mm. Tentukan sudut yang bersentuhan dengan tali ban dalam derajat dan radian.

(kunci jawaban : 144° dan 1,519 rad).

8. Kecepatan sebuah benda tercatat sebagai berikut (lihat Tabel 3. 1) :

Tabel 3.1. Kecepatan dan waktu

Waktu (detik)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Kecepatan	2,47	3,83	4,95	4,95	4,95	3,71	2,47	1,27	0

Hitunglah :

- a. percepatan benda pada detik pertama,
- b. percepatan benda pada waktu 5 detik,
- c. jarak yang ditempuh selama 8 detik.

(kunci jawaban : a. $1,125 \text{ m/dt}^2$, b. $-1,238 \text{ m/dt}^2$, c. $27,45 \text{ m}$).

9. Armature sebuah motor listrik berputar 5000 Rpm, jika motor berhenti dalam 10 detik sesudah aliran listrik diputuskan. Hitung :

- a. perlambatan rata-rata armature,
- b. jumlah putaran yang dibuat armature sampai listrik dipadamkan.

(kunci jawaban : a. $52,38 \text{ rad/dt}$, b. 416,6 revolusi).

10. Roda gila berdiameter 360 mm, kecepatannya ditambah beraturan dari keadaan diam, sampai 9 m/dt dalam 60 putaran. Hitung :

- a. percepatan sudutnya,
- b. jika roda terus diputar dengan percepatan sudut (a), berapa percepatan centripetal sebuah titik pada tepi roda, apabila roda tersebut diputar 50 revolusi lagi.

(kunci jawaban a. $4,315 \text{ rad/dt}^2$, b. 946 m/dt^2).

MILIK UFT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

BAB 4

GAYA STATIS

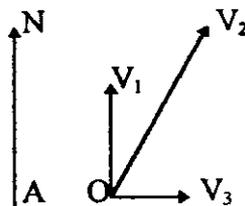
4. 1. Besaran Skalar dan Vektor

Besaran skalar merupakan kuantitas yang hanya mempunyai besaran, misalnya : massa 10 kg, volume 10 m³, massa jenis 1000 kg/m³, waktu, kelajuan, kerja, daya dan lain-lain. Sedangkan besaran vektor adalah kuantitas yang mempunyai besaran dan arah contoh : kecepatan, percepatan, gaya, medan listrik, medan magnet dan lain-lain.

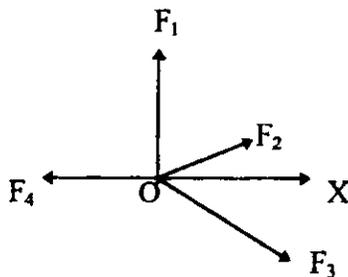
Besaran vektor dapat digambarkan dengan diagram, yaitu berupa garis lurus dengan panjang tertentu dan dilukis dengan arah tertentu. Panjang garis menyatakan besarnya kuantitas, sedangkan arah panah menunjukkan arah dari vektor. Contohnya pada Gambar 4.1, kecepatan $V_1 = 1,6$ m/dt ditunjukkan dengan diagram panjang garis 16 mm (skala 10 mm = 1 m) dengan arah vertikal (AN), $V_2 = 2,4$ m/dt dengan arah 30° dari arah AN dan $V_3 = 0,85$ m/dt dengan arah 90° dari AN.

4. 2. Gaya

Gaya merupakan besaran vektor karena mempunyai besaran dalam Newton (N) dan mempunyai arah tertentu, misalnya ditarik atau ditekan dan mempunyai titik tangkap. Contohnya pada Gambar 4.2, terdapat 4 gaya, yaitu : F_1 , F_2 , F_3 dan F_4 yang bekerja di titik tangkap O.



Gambar 4. 1. Garis dan sudut vektor



Gambar 4. 2. Vektor gaya bekerja di titik O

Jika skala lukisan $10 \text{ mm} = 20 \text{ N}$, maka garis OX (absis) panjangnya 20 mm dan arahnya OX, hal ini menunjukkan besarnya gaya $40 \angle 0^\circ$. Dengan menggunakan mistar dan busur derajat (sudut) dapat dihitung besarnya dan arah gaya F_1 , F_2 , F_3 dan F_4 , yaitu :

$$F_1 = 38 \text{ N} \angle 90^\circ,$$

$$F_2 = 37 \text{ N} \angle 27^\circ,$$

$$F_3 = 40 \text{ N} \angle 315^\circ,$$

$$F_4 = 32 \text{ N} \angle 180^\circ.$$

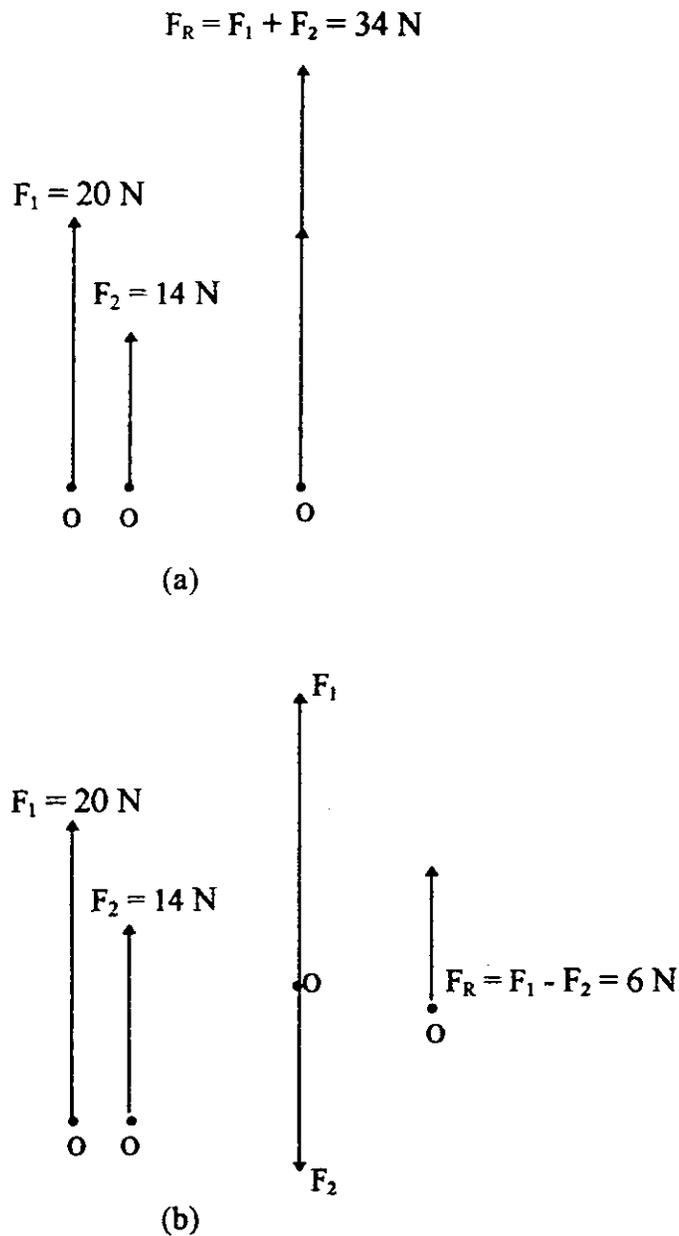
4. 3. Resultan Gaya-Gaya pada Bidang Datar

Resultan 2 buah gaya yang bekerja pada satu titik tangkap dengan garis kerja yang sama adalah jumlah kedua buah gaya pada arah yang sama. Kebalikan, selisih dua buah gaya bila arahnya berlawanan (lihat Gambar 4.3).

Analitis besarnya resultante dari dua buah gaya yang bekerja pada satu garis kerja yang sama, yaitu :

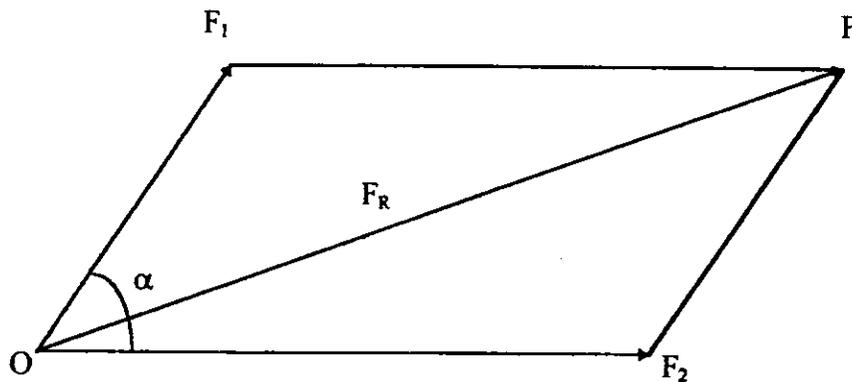
$$F_R = F_1 \pm F_2, \quad (4.1)$$

dengan F_R = resultante gaya.



Gambar 4.3. (a) Penjumlahan vektor gaya dan (b) Selisih vektor gaya

Jika dua buah gaya yang bekerja pada satu titik tangkap, akan tetapi tidak berada pada satu garis kerja yang sama, resultan gayanya dapat ditentukan dengan melukiskan diagram paralelgram (lihat Gambar 4.4).



Gambar 4. 4. Resultante dua buah gaya

Pada Gambar 4.4 terlihat dua buah gaya bekerja pada satu titik tangkap yang besar dan arahnya membentuk sudut dari kedua sisi diagram jajaran genjangnya, maka garis diagonal jajaran genjang tersebut menunjukkan besar dan arah resultan kedua gaya tersebut.

Secara analitis besarnya diagonal OP (F_R) dapat dihitung dengan formulasi berikut, yaitu :

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos\alpha} \quad , \quad (4.2)$$

dengan: α = sudut antara F_1 dengan F_2 .

4. 4. Diagram Gaya-Gaya Poligon

Resultan gaya untuk lebih dari dua gaya yang bekerja pada bidang datar dengan satu titik tangkap dapat juga ditentukan dengan cara grafis, metoda dikenal dengan gaya-gaya poligon.

4. 4. 1. Resultan Tiga Gaya pada Bidang Datar

Untuk menentukan resultante 3 buah gaya seperti terlihat pada Gambar 4. 5a. Diagram ini menunjukkan besar dan arah gaya yang biasa dikenal sebagai diagram ruang (*space diagraph*), gaya tersebut bekerja pada titik tangkap O, yaitu :

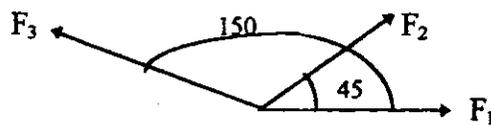
$$F_1 = 25 \text{ N } \angle 0^\circ,$$

$$F_2 = 20 \text{ N } \angle 45^\circ,$$

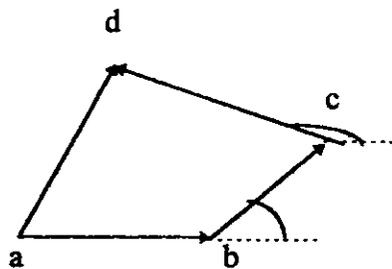
$$F_3 = 30 \text{ N } \angle 150^\circ.$$

untuk mendapatkan resultante dari ketiga gaya tersebut :

1. tentukan skala gambar, misalnya $1 \text{ mm} = 1 \text{ N}$,
2. lukis $F_1 = 25 \angle 0^\circ$, dengan panjang garis 25 mm ke arah OX (garis ab pada Gambar 4.5b),
3. dari ujung panah F_1 , lukis $F_2 = 20 \angle 45^\circ$ dan panjangnya 20 mm (garis bc pada Gambar 4.5b),
4. dari ujung panah F_2 , lukis $F_3 = 30 \angle 150^\circ$, panjangnya garis 30 mm (garis cd pada Gambar 4.5b) yang membuat sudut 150° dengan OX,
5. garis-garis ab, bc dan cd adalah garis menunjukkan F_1 , F_2 dan F_3 sebagai vektor gaya.



(a)



(b)

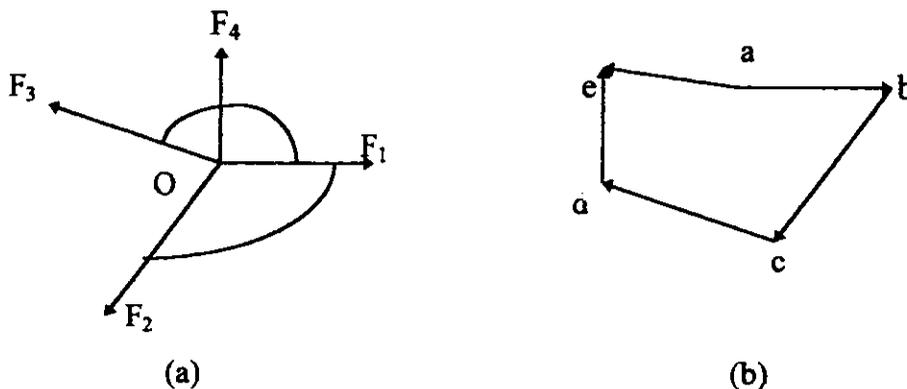
Gamabr 4. 5. (a) Poligon gaya dan (b) Resultante gaya

6. resultante ketiga gaya tersebut didapatkan dengan melukiskan ad, yaitu vektor dari titik pangkal a yang dihubungkan dengan ujung panah cd atau F_3 ,
 7. besarnya resultante gaya sama dengan panjang ad, yaitu 32 mm,
 8. besarnya sudut yang terjadi terhadap OX dapat diukur yaitu $60,5^\circ$,
- jadi resultan ketiga gaya tersebut adalah : $F_R = 32 \text{ N} \angle 60,5^\circ$.

Diagram yang dilukiskan ini disebut diagram poligon gaya, dengan tiga gaya poligon akan membentuk 4 buah garis, garis terakhir menunjukkan besar dan arah dari resultan gaya, demikian seterusnya. Apabila ada 4 gaya, maka akan terlukis 5 buah garis. Jika ingin membuat hasil kerja ketiga gaya di dalam keadaan seimbang (*equilibrium*), maka harus ada gaya penyeimbangan yang besarnya sama dengan resultante gaya, tetapi arahnya berlawanan. Gaya penyeimbangan pada diagram poligon, dikenal dengan istilah vektorda.

4. 4. 2. Resultante Empat Gaya dengan Satu Titik Tangkap pada Bidang Datar

Untuk menentukan resultante 4 buah gaya pada satu titik tangkap, dengan kondisi ke empat gaya tersebut sebidang (lihat Gambar 4. 6). Besar dan arah gaya tersebut adalah : jika skala $1 \text{ mm} = 1 \text{ N}$, maka F_1 , F_2 , F_3 dan F_4 adalah ab, bc, ad, dan de (lihat Gambar 4. 6b). Resultante ae terlukis dari titik a ke ujung panah e yang mempunyai panjang 22 mm dan membuat sudut 144° dengan ab.



Gambar 4. 6. (a) Diagram empat gaya dan (b) Resultante gaya

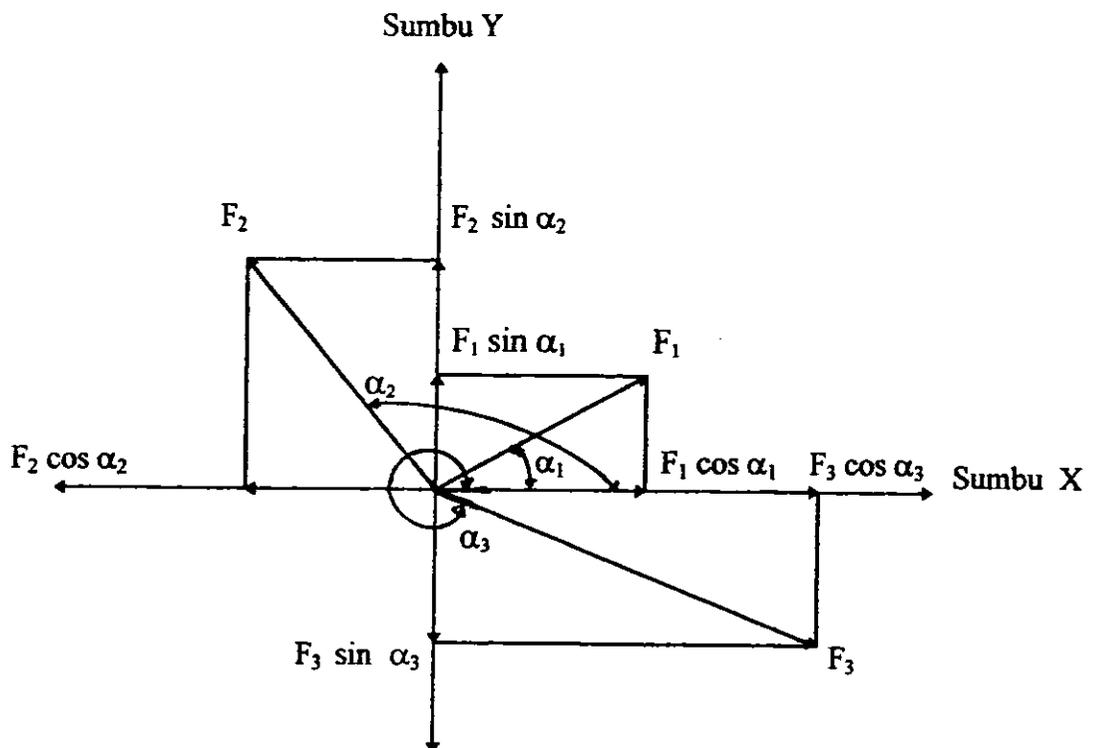
Jadi resultante gaya tersebut adalah :

$$F_R = 22 \text{ N} \angle 144^\circ.$$

4. 5. Analitis

Untuk menghitung resultante gaya dapat juga dilakukan secara analitis dengan metode sumbu siku-siku. Prosedur analitis tersebut, yaitu melalui titik tangkap gaya-gaya dibuat sistem salib sumbu tegak lurus X (*absis*) dan Y (*ordinat*). Kemudian setiap gaya diuraikan pada sumbu X dan Y (lihat Gambar 4. 7).

Gaya-gaya pada sumbu X dan Y dijumlahkan menjadi R_X dan R_Y , setelah gaya ditabulasikan (lihat Tabel 4.1), maka resultante gaya dapat dihitung.



Gambar 4. 7. Resultante gaya pada sumbu siku-siku

Tabel 4. 1. Analitis

F	cos α	sin α	F cos α	F sin α
F_1	$\cos \alpha_1$	$\sin \alpha_1$	$F \cos \alpha_1$	$F \sin \alpha_1$
F_2	$\cos \alpha_2$	$\sin \alpha_2$	$F \cos \alpha_2$	$F \sin \alpha_2$
F_3	$\cos \alpha_3$	$\sin \alpha_3$	$F \cos \alpha_3$	$F \sin \alpha_3$
			$R_X =$	$R_Y =$

$$R_X = \Sigma F \cos \alpha , \quad (4.3)$$

$$R_Y = \Sigma F \sin \alpha , \quad (4.4)$$

$$R = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2} , \quad (4.5)$$

arah resultante gaya (R), yaitu :

$$\text{tg } \alpha_R = R_Y / R_X \quad (4.6)$$

Hal-hal istimewa, yaitu :

1. bila $R_X = 0$, mengakibatkan $R = R_Y$,
2. bila $R_Y = 0$, mengakibatkan $R = R_X$,
3. bila $R_X = 0$ dan $R_Y = 0$, mengakibatkan $R = 0$, artinya gaya-gaya saling meniadakan atau gaya-gaya berada di dalam keseimbangan.

Contoh soal

Sejumlah gaya bertitik tangkap pada titik O, yaitu titik berpotongan antara sumbu X dan Y yang saling tegak lurus, sudut yang dibuat antara gaya-gaya tersebut seperti berikut :

$$F_1 = 14 \text{ N } \angle 45^\circ, F_2 = 20 \text{ N } \angle 60^\circ, F_3 = 18 \text{ N } \angle 180^\circ, F_4 = 30 \text{ N } \angle 210^\circ, \text{ dan}$$

$$F_5 = 16 \text{ N } \angle 300^\circ,$$

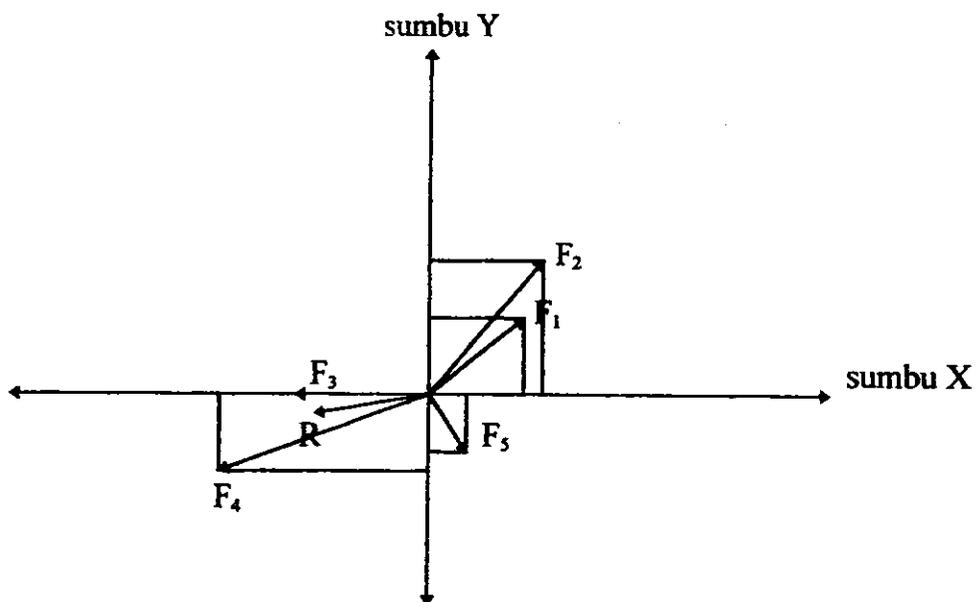
tentukan besarnya resultante kelima gaya tersebut dan sudut gaya resultantennya.

Penyelesaian :

lihat Tabel 4.2 dan Gambar 4. 8,

Tabel 4. 2. Harga gaya pada sistem salib sumbu

F	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	F $\cos \alpha$	F $\sin \alpha$
$F_1 = 14 \text{ N}$	$1/2 \sqrt{2}$	$1/2 \sqrt{2}$	$7\sqrt{2}$	$7\sqrt{2}$
$F_2 = 20 \text{ N}$	$1/2$	$1/2 \sqrt{3}$	10	$10\sqrt{3}$
$F_3 = 18 \text{ N}$	-1	0	-18	0
$F_4 = 30 \text{ N}$	$-1/2 \sqrt{3}$	-1/2	$-15\sqrt{3}$	-15
$F_5 = 16 \text{ N}$	$1/2$	$-1/2 \sqrt{3}$	8	$-8\sqrt{3}$
			$R_x = -16 \text{ N}$	$R_y = -1,6 \text{ N}$



Gambar 4. 8. Resultante pada sumbu siku-siku

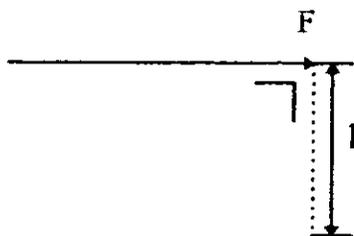
$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \\
 &= \sqrt{(-16)^2 + (-1,6)^2}, \\
 &= 16,1 \text{ N}, \\
 \text{tg } \alpha_R &= R_y / R_x, \\
 &= (-1,6) / (-16), \\
 &= 0,1 \text{ (kuadran IV)}, \\
 \text{tg } (180 + \alpha_R) &= 0,1, \\
 180 + \alpha_R &= 5,42^\circ, \\
 \alpha_R &= -174,18^\circ, \\
 \alpha_R &= 360^\circ - 174,18^\circ, \\
 \alpha_R &= 185,42^\circ,
 \end{aligned}$$

dengan : α_R = sudut antara gaya resultante dengan sumbu X positif.

4. 6. Gaya Paralel

4. 6. 1. Momen

Apabila sebuah pintu didorong dengan gaya tertentu melalui handelnya, maka dorongan tersebut akan mengakibatkan pintu berputar pada engselnya. Efek putar ini tergantung pada jarak tegak lurus antara garis kerja dan titik tertentu pada jarak tersebut.



Gambar 4. 9. Momen gaya

Efek putar ini disebut juga dengan momen gaya dan harganya sebagai hasil kali gaya dan lengan (lihat Gambar 4. 9), yaitu :

$$M = F \cdot l , \quad (4.7)$$

dengan M = momen gaya (Nm),

F = gaya yang bekerja (N),

l = lengan (m).

Contoh soal

Sebuah batang A (lihat Gambar 4.10) mengalami pembebanan dengan gaya (F_1)10 kN gaya (F_2) 5 kN. Gaya F_2 membuat sudut 30° dengan A. Hitung momen gaya di A.

Penyelesaian :

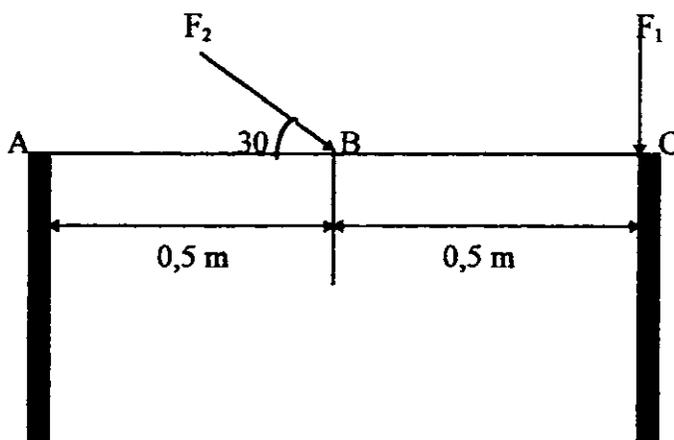
Besar gaya vertikal di titik C = 10 kN,

besar gaya vertikal dititik B = $F_2 \sin 30$,

$$= 5 \cdot 0,5,$$

$$= 2,5 \text{ kN},$$

jumlah momen di titik A, yaitu :



Gambar 4. 10. Batang A

3. Lihat Gambar 4. 13, tentukan R_B dan R_D .

Penyelesaian :

Bila diambil momen di titik D, $\Sigma M = 0$,

$$R_B \cdot 10 + (3 \cdot 2) - (2 \cdot 13) - (5 \cdot 4) = 0,$$

$$10 R_B = 26 + 20 - 6,$$

$$R_B = 4 \text{ kN},$$

bila diambil momen di titik B, $\Sigma M = 0$,

$$(5 \cdot 6) + (3 \cdot 12) = (R_D \cdot 10) + (2 \cdot 3),$$

$$R_D = 6 \text{ kN},$$

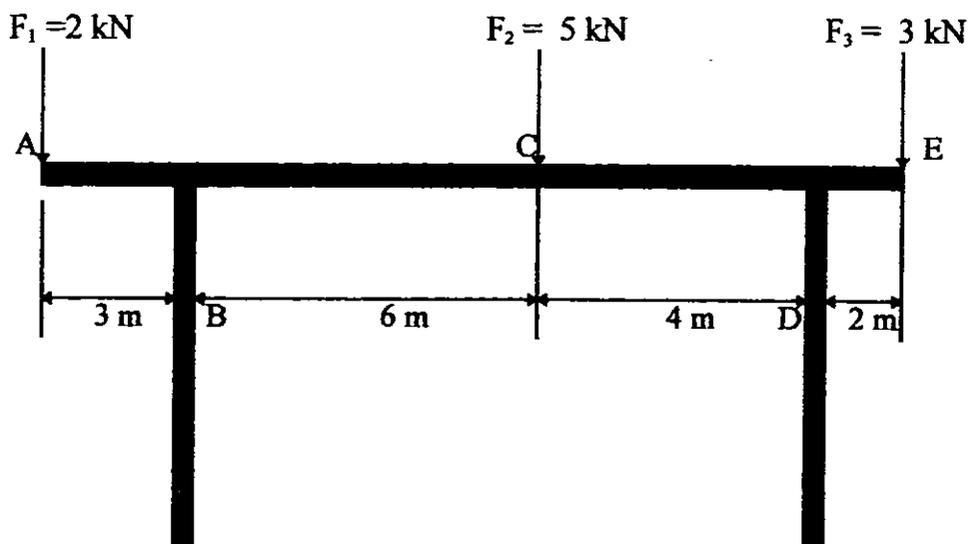
untuk membuktikan kebenaran perhitungan ini, digunakan persamaan, yaitu :

$$\Sigma F = 0,$$

jumlah gaya vertikal ke bawah = jumlah gaya vertikal ke atas :

$$F_1 + F_2 + F_3 = R_B + R_D,$$

$$2 + 5 + 3 = 4 + 6, \text{ terbukti.}$$



Gambar 4. 13. Batang disangga oleh tiang yang tidak terletak diujungnya

$$\begin{aligned}
 M_A &= F_1 \cdot 1 + F_2 \sin 30 \cdot 0,5, \\
 &= 10 \cdot 1 + 2,5 \cdot 0,5, \\
 &= 11,25 \text{ kN meter.}
 \end{aligned}$$

4. 6. 2. Keseimbangan pada Gaya-Gaya Sejajar

Sebuah benda dikatakan setimbang, apabila tidak ada kecenderungan benda tersebut untuk bergerak. Untuk lebih lanjut, jika menginginkan benda berada dalam keseimbangan, maka total momen-momen gaya yang bekerja pada benda tersebut haruslah sama dengan nol.

Apabila pada suatu batang bekerja gaya-gaya tegak lurus terhadap batang tersebut, dengan gaya-gaya tersebut di dalam keadaan sejajar, maka batang tersebut akan tetap berada dalam keseimbangan atau tidak ada kecenderungan untuk bergerak lurus maupun berputar.

Ada dua kondisi yang harus dipenuhi apabila suatu batang berada di dalam keseimbangan, yaitu :

1. jumlah vektor gaya-gaya yang bekerja pada batang haruslah nol,
2. jumlah aljabar dari momen di setiap titik pada batang yang disebabkan gaya-gaya yang bekerja haruslah nol.

Di dalam bentuk formulasi ditulis sebagai berikut :

$$\Sigma F = 0, \tag{4.8}$$

$$\Sigma M = 0, \tag{4.9}$$

dengan kata lain jika batang berada di dalam keseimbangan, maka kedua kondisi ini harus dipenuhi.

Sesuai dengan prinsip momen, yaitu apabila sejumlah gaya-gaya sejajar bekerja pada sebuah benda, jika benda tersebut berada dalam keseimbangan, maka jumlah aljabar dari momen-momen gaya tersebut di setiap titik akan sama dengan nol



atau dengan kata lain total momen searah jarum jam pada beberapa titik sama dengan total momen yang berlawanan arah jarum jam pada titik yang sama.

Contoh soal

1. Dua orang anak, yang pertama bermassa 21 kg dan kedua 28 kg, duduk pada kedua ujung papan yang ditumpu sebuah tumpuan ditengahnya. Jika yang massanya kecil duduk pada jarak 2m dari tumpuan, berapa jauh dari tumpuan anak yang bermassa lebih besar duduk pada papan tersebut, agar papan berada di dalam kesetimbangan horizontal.

Penyelesaian :

lihat Gambar 4.11, besar momen berlawanan arah dengan jarum jam, yaitu

$$= 21 \cdot 9,81 \cdot 2,$$

$$= 412 \text{ NM},$$

besar momen yang searah jarum jam, yaitu :

$$= 28 \cdot 9,81 \cdot X,$$

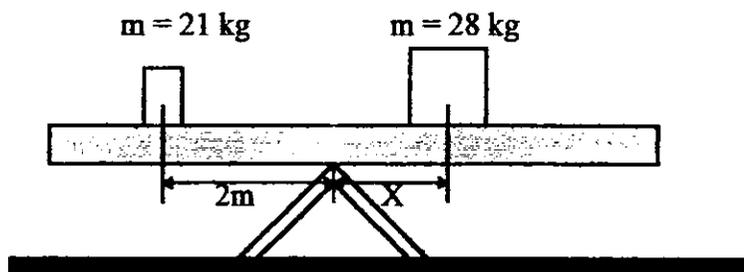
$$= 274,7 \text{ Nm},$$

besar momen berlawanan arah jarum jam = searah jarum jam,

$$412 = 274,7 \cdot X,$$

$$X = 1,5 \text{ m},$$

anak yang bermassa lebih besar harus duduk 1,5 meter dari tumpuan.



Gambar 4. 11. Gaya berada dalam keadaan setimbang

2. Sebuah batang baja, massanya 200 kg dan panjangnya 8 meter, di setiap ujungnya disangga dengan tiang tegak lurus, batang tersebut menahan beban 1000 kg dan 2500 kg, yang berjarak 2 m dan 6 m dari tiang sebelah kiri berturut-turut. Hitung gaya reaksi pada setiap tiang, ambil $g = 9,81 \text{ m/dt}^2$.

Penyelesaian :

lihat Gambar 4. 12, dipergunakan perumusan bahwa jumlah gaya ke atas sama dengan gaya ke bawah, yaitu :

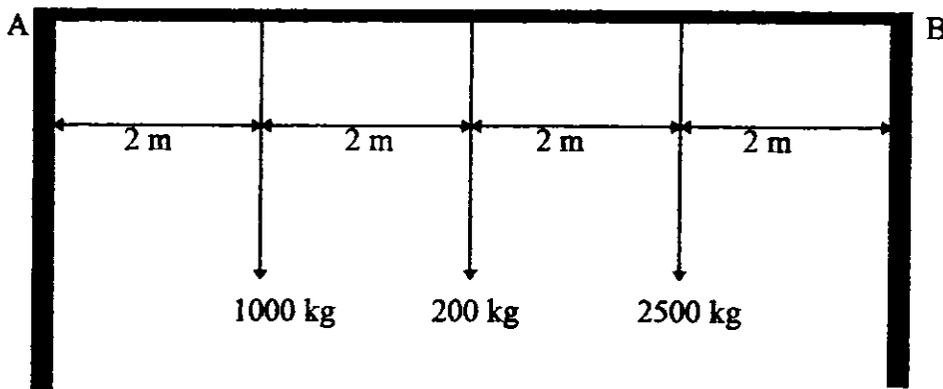
$$\begin{aligned} R_1 + R_2 &= 1000 \text{ g} + 200 \text{ g} + 2500 \text{ g}, \\ &= 3700 \text{ g N}. \end{aligned}$$

besar momen di ujung pilar A adalah :

$$\begin{aligned} (1000 \text{ g} \cdot 2) + (200 \cdot 4) + (2500 \text{ g} \cdot 6) &= R_2 \cdot 8, \\ R_2 &= (17800 \cdot 9,81) / 8, \\ &= 21830 \text{ N}, \end{aligned}$$

R_1 dapat dicari dengan jalan :

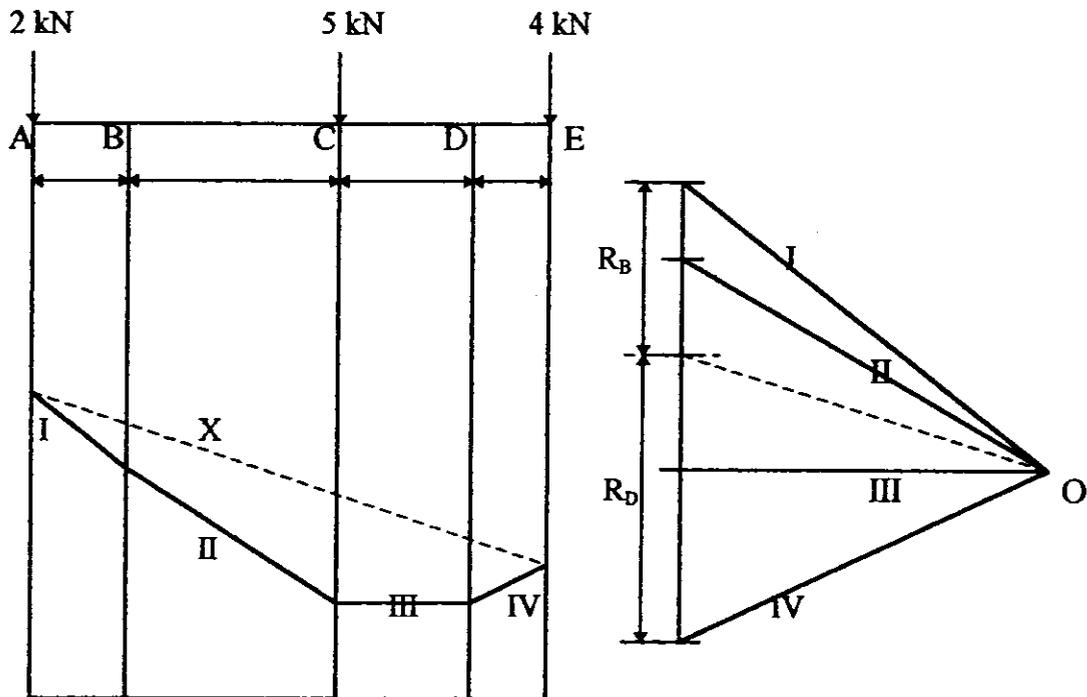
$$\begin{aligned} R_1 + R_2 &= 3700 \cdot 9,81, \\ R_1 &= (3700 \cdot 9,81) - 21380, \\ &= 144700. \end{aligned}$$



Gambar 4. 12. Batang di atas tiang penyangga

Permasalahan dari soal 3, juga dapat diselesaikan secara grafis dengan menggunakan prinsip garis kutub untuk menentukan besar harga R_B dan R_D (lihat Gambar 4. 14), yaitu seperti prosedur berikut:

1. tentukan titik O sembarang,
2. lukis gaya-gaya vertikal FA, FC dan FE dengan skala, misalnya $1 \text{ N} = 1 \text{ cm}$,
3. hubungkan titik O dengan pangkal garis FA, FC dan FE,
4. pindahkan garis-garis kutub I, II, III dan IV, sejajar dengan diagram (lihat Gambar 4. 14),
5. hubungkan ke dua ujung garis kutub I dan IV
6. pindahkan kembali garis X ke lukisan kutub, sehingga memotong garis tegak lurus (gaya-gaya vertikal),
7. besar R_B dan R_D dapat diukur, kemudian diskalakan ($1 \text{ N} = 1 \text{ cm}$).



Gambar 4. 14. Lukisan kutub

4. 7. Soal Latihan

1. Tentukan secara grafis, resultan gaya dari :

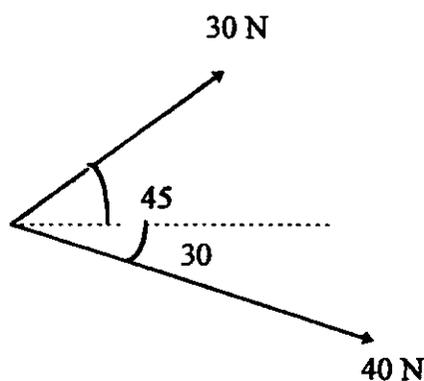
- $F_1 = 100 \text{ N} \angle 0^\circ$ dan $F_2 = 75 \text{ N} \angle 90^\circ$,
- $F_1 = 100 \text{ N} \angle 0^\circ$, $F_2 = 75 \text{ N} \angle 90^\circ$ dan $F_3 = 80 \text{ N} \angle 30^\circ$.

2. Gunakan diagram gaya-gaya poligon untuk menentukan resultan dari gaya-gaya yang sebidang dengan 1 titik tangkap, yaitu :

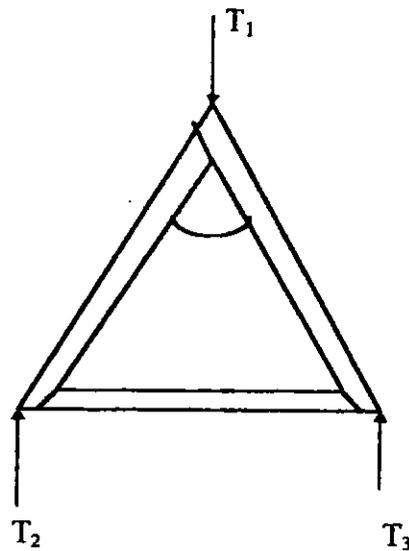
- $F_A = 40 \text{ N} \angle 0^\circ$, $F_B = 30 \text{ N} \angle 50^\circ$, dan $F_C = 50 \text{ N} \angle 90^\circ$,
- $F_1 = 200 \text{ N} \angle 0^\circ$, $F_2 = 100 \text{ N} \angle 30^\circ$, $F_3 = 300 \text{ N} \angle 120^\circ$, dan $F_4 = 150 \text{ N} \angle 180^\circ$.

3. Tentukan resultante R (besar dan arahnya) dengan analitis yang menggunakan sumbu siku-siku, bila : $F_1 = 15 \text{ N} \angle 30^\circ$, $F_2 = 25 \text{ N} \angle 60^\circ$, $F_3 = 30 \text{ N} \angle 135^\circ$, $F_4 = 20 \text{ N} \angle 270^\circ$, dan $F_5 = 225 \text{ N} \angle 315^\circ$.

4. Tentukan resultan 2 buah gaya seperti pada Gambar 4. 15.

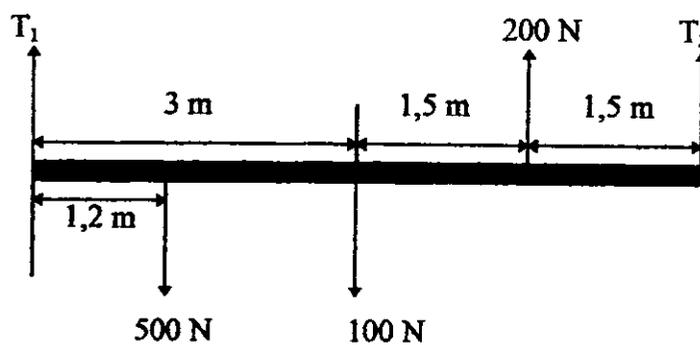


Gambar 4. 15. Resultan gaya



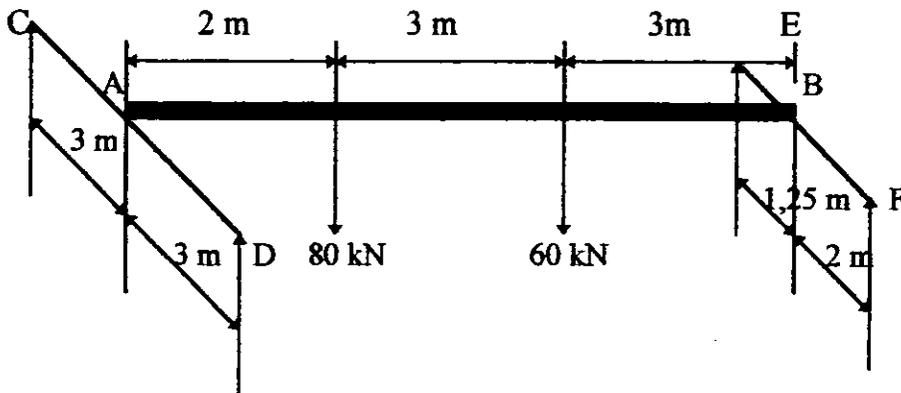
Gambar 4. 16. Rangka batang

5. Rangka batang seperti pada Gambar 4.16, terdiri dari 3 batang yang sama panjangnya, kemudian ujungnya dihubungkan dengan pena. Rangka batang ini mendukung beban yang besarnya 2500 N, tegak lurus pada rangka. Tentukan gaya T_2 dan T_3 pada rangka batang.
6. Lihat Gambar 4. 17, tentukan gaya T_1 dan T_2 .



Gambar 4. 17. Batang yang dibebani

7. Jembatan kecil terbuat dari balok horizontal terpadu, didukung oleh tiang beton di kedua ujungnya. Massa balok 1500 kg dengan panjang 12 m. Tentukan gaya reaksi tiang beton bila jembatan dibebani :
- sebuah mobil dengan massa 1500 kg pada tengah jembatan,
 - bila sebuah vespa bermassa 1500 kg dan mobil bermassa 1500 kg, masing-masing bekerja pada jarak 2 m dan 8 m dari kiri ujung jembatan.
8. Sebuah batang AB membawa 2 beban pada ujungnya didukung oleh 2 batang, yaitu CD dan EF (lihat Gambar 4. 18). Hitung reaksi tumpuan di C, D, E dan F.



Gambar 4. 18. Rangka batang yang dibebani

DAFTAR ACUAN

Beiser, Arthur, *The Foundations Physics*, Addison Wesley Publishing Company, Inc, London, 1964.

Bell, A.E., *Mechanical Engineering Science*, Cassel Technical Book, London, 1975.

Besari, Ismail, *Kamus Fisika*, Penerbit Pionir Jaya, Bandung, 1987.

Forgiel, M., *The Mechanics Problem Solver (Statics and Dynamics)*, Research and Education Association, New York, 1986.

Kane dan Sternhein, *Physics SI Version*, John Wiley and Sons, Inc, London, 1980.

Meadows, R.G., *Technician Engineering Science I*, Cassel Technical Book, London, 1978

Meadows, R.G., *Technician Engineering Science II*, Cassel Technical Book, London, 1978

Meriam, J. L., *Engineering Mechanics (Statics and Dynamics)*, John Wiley and Sons, Inc, New York 1980.

Nelkon, M., *Principles of Physics*, Fletcher and Son, London, 1977.

Resnick, Robert and David Halliday, *Physics Part I*, John Wiley and Sons, Inc, New York, 1966.

Schofield, Walter, *Physics for Engineers*, Mc Geaw-Hill Book Company, London, 1970.

Soetrisno, *Fisika Dasar*, Penerbit ITB, Bandung, 1978.