Endarko, dkk

FISIKA JILID 1
UNTUK SMK TEKNOLOGI

SMK

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

FISIKA JILID 1
UNTUK SMK TEKNOLOGI

Untuk SMK

Penulis : Endarko
Melania Suweni Muntini
Lea Prasetio
Heny Faisal
Editor : Darminto
Perancang Kulit : Tim

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

END ENDARKO
f Buku Ajar Fisika Jilid 1 untuk SMK Teknologi /oleh Endarko, Melania Suweni Muntini, Lea Prasetio, Heny Faisal ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xi. 164 hlm
Daftar Pustaka : A1-A2
Glosarium : B1-B7
ISBN : 978-602-8320-27-6

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK. Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khsusnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Seiring dengan dibukanya peluang bagi semua siswa lulusan dari berbagai jenis sekolah menengah, baik yang bersifat sekolah menengah umum, kejuruan ataupun keagamaan, serta tidak ada lagi pembedaan terhadap kelompok IPA, IPS ataupun kelompok Bahasa, agar siswa lulusannya dapat berkompetisi masuk di perguruan tinggi, maka sebagai konsekuensinya adalah pemerintah harus menyediakan, mengelola dan membina terhadap fasilitas software maupun hardware untuk sekolah menengah kejuruan dan sekolah menengah keagamaan yang mengalami ketertinggalan dibandingkan dengan sekolah menengah umum, akibat adanya perubahan kebijakan tersebut.

Dalam upaya peningkatan kualitas pendidikan dan pengajaran mata pelajaran Fisika untuk Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) se Indonesia, maka pihak Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah dan Kejuruan melakukan kerjasama dengan salah satu perguruan tinggi teknik dalam hal ini Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Karena ITS telah memiliki pengalaman dalam membina mahasiswa baru yang berasal dari kelompok sekolah menengah kejuruan untuk ikut program pembenahan tersebut.

Pencanangan tahun 2015 oleh pemerintah agar perbandingan jumlah siswa SMU terhadap SMK adalah 30 prosen dibanding 70 prosen, yaitu terbalik dari kondisi sekarang, merupakan langkah yang harus diikuti dengan berbagai pembenahan. Pembenahan dapat dimulai dari penyediaan buku ajar yang berbahan baku standar, lengkap dan disajikan secara lebih populer, yaitu mudah dipahami. Permasalahan di lapangan adalah keberagaman sistem pengelolaan sekolah menengah kejuruan di berbagai daerah sudah lama dilepas dengan porsi kurikulum terbesarnya pada muatan lokal, dengan spesialisasi yang terlalu sempit, karena kebijakan bahwa SMK harus padu dan terkait dengan kebutuhan lingkungan (industri) terdekatnya.

Dalam pelaksanaan pengajaran mata pelajaran Fisika, pada umumnya para guru SMK, belum mempunyai pedoman yang seragam dan tegas. Tiap SMK memiliki arahan tersendiri. Guru lebih memilih untuk meracik sendiri materi yang akan diberikan kepada siswanya dari berbagai buku fisika yang teersedia. Untuk SMK berkualitas, seringkali terjebak dalam “standar kurikulum” yang disesuikan dengan selera industri pemakai tenaga lulusannya.

Program penyediaan buku, selalu dibarengi dengan pernyesuaian lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pelaksanan di lapangan, penyiapan guru pengajarnya, upaya mendapatkan umpan balik, revisi buku dan pembakuan kurikulum. Diharapkan semua

program hendaknya dapat dijalankan dengan tanpa mendikte ataupun dengan pemaksaan, karena harus mengejar target waktu agar cepat terselesaikan, sedangkan di lapangan masih dibutuhkan suatu panduan yang lebih implementatif dan aplikatif. Hal ini mengingat SMK telah berjalan dengan budaya dan mapan dengan lingkungannya. Perubahan hendaknya secara bertahap dan dengan kesadaran institusinya serta sesuai tuntutan lingkungan dan lapangan kerja lulusannya.

Demikian kami sampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar–besarnya kepada Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah dan Kejuruan Depdiknas atas terselenggaranya kerjasama ini, sehingga menggugah kesadaran para guru dan dosen akan tanggung jawabnya terhadap kualitas pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan, semoga Allah SWT membalas dedikasi dan amal baik tersebut.

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN i
KATA PENGANTAR ii
DAFTAR ISI iv
BAB 1 1
BESARAN DAN SATUAN 1
1.1 BESARAN DAN SATUAN 3
1.2 STANDAR SATUAN BESARAN 5
1.3 MACAM ALAT UKUR 8
1.4 KONVERSI SATUAN 15
1.5 DIMENSI 17
1.6 ANGKA PENTING 19
1.7 NOTASI ILMIAH (BENTUK BAKU) 21
1.8 PENGUKURAN 21
1.9 VEKTOR 26
1.10 RANGKUMAN 35
1.11 TUGAS MANDIRI 35
1.12. SOAL UJI KOMPETENSI 37
BAB 2 43
MENERAPKAN HUKUM GERAK DAN GAYA 43
2.1 GERAK DAN GAYA 47
2.2 GERAK LURUS BERATURAN (GLB) 48
2.3 GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN (GLBB) 50
2.4 HUKUM - HUKUM NEWTON TENTANG GERAK 56
2.5 GERAK BENDA YANG DIHUBUNGKAN DENGAN KATROL 61
2.6 BENDA BERGERAK PADA BIDANG MIRING 62
2.7 GAYA GESEK 62
2.8 GERAK MELENGKUNG 66
2.9 KEGIATAN 75
2.10 RANGKUMAN 76
2. 11 SOAL UJI KOMPETENSI 77
BAB 3 85
DINAMIKA ROTASI DAN KESETIMBANGAN BENDA TEGAR 85
3.1 DINAMIKA ROTASI 87

3.2. KECEPATAN DAN PERCEPATAN ANGULAR 88
3.3. TORSI DAN MOMEN INERSIA 91
3.4. PEMECAHAN MASALAH DINAMIKA ROTASI DENGAN HUKUM KEKEKALAN ENERGI MEKANIK 97
3.5. HUKUM KEKEKALAN MOMENTUM SUDUT 101
3.6 KESETIMBANGAN BENDA 103
3.7 RANGKUMAN 109
3.8 SOAL KOMPETENSI 110
BAB 4 113
USAHA DAN ENERGI 113
4.1 USAHA 115
4.2 DAYA 119
4.3 KONSEP ENERGI 120
4.4 ENERGI MEKANIK 122
4.5 KERJA OLEH GAYA KONSERVATIF DAN OLEH GAYA NON-KONSERVATIF 124
4.6 KEGIATAN 126
4.7 RANGKUMAN 127
4.8 SOAL UJI KOMPETENSI 128
BAB 5 131
MOMENTUM DAN IMPULS 131
5.1 PENGERTIAN MOMENTUM DAN IMPULS 133
5.2 IMPULS SEBAGAI PERUBAHAN MOMENTUM 134
5.3 HUKUM KEKEKALAN MOMENTUM 135
5.4 TUMBUKAN 137
5.5 KEGIATAN 139
5.6 RANGKUMAN 140
BAB 6 143
SIFAT MEKANIK BAHAN 143
6.1. SIFAT MEKANIK BAHAN 145
6.2 RANGKUMAN 160
6.3 SOAL UJI KOMPETENSI 162
BAB 7 165
SUHU DAN KALOR 165
7.1 PENGUKURAN TEMPERATUR 167
7.2 TEMPERATUR GAS IDEAL, TERMOMETER CELCIUS, DAN TERMOMETER FAHRENHEIT 168
7.3 ASAS BLACK DAN KALORIMETRI 169
7.4 HANTARAN KALOR. 170
BAB 8 181
DINAMIKA FLUIDA 181

A. FLUIDA STATIS 183
B. TEGANGAN PERMUKAAN DAN VISKOSITAS ZAT CAIR 192
C. FLUIDA DINAMIS 196
BAB 9 213
TERMODINAMIKA 213
9.1 SISTEM, KEADAAN SISTEM, DAN KOORDINAT TERMODINAMIKA 215
9.2 KEADAAN SETIMBANG 216
9.3 HUKUM TERMODINAMIKA KE NOL DAN TEMPERATUR 217
9.4 PERSAMAAN KEADAAN 224
9.5 PERSAMAAN KEADAAN GAS IDEAL 225
9.6 DIAGRAM PT, DIAGRAM PV, DAN PERMUKAAN *PVT* UNTUK ZAT MURNI 226
9.7 DIAGRAM PV, DIAGRAM PT, DAN PERMUKAAN PVT UNTUK GAS IDEAL 227
9.8 KERJA 228
9.10 KERJA PADA PROSES IRREVERSIBLE (TAK REVERSIBLE) 229
9.11 KALOR DAN HUKUM TERMODINAMIKA I 231
BAB 10 261
GETARAN, GELOMBANG DAN BUNYI 261
10.1 HAKEKAT GETARAN 263
10.2. FORMULASI GETARAN 271
10.3 ENERGI GETARAN 273
10.4 HAKEKAT GELOMBANG 282
10.5 KECEPATAN RAMBAT GELOMBANG 287
10.6 PERSAMAAN GELOMBANG 291
10.7 GELOMBANG BUNYI 293
10.8 EFEK DOPPLER 301
10.9 RANGKUMAN 304
10.10 SOAL / UJI KOMPETENSI 305
BAB 11 309
MEDAN MAGNET 309
11.1 INDUKSI MAGNET 312
11.2 MEDAN MAGNET OLEH ARUS LISTRIK 315
11.3 INDUKSI MAGNET OLEH KAWAT LINGKARAN. 317
11.4 INDUKSI MAGNET OLEH SOLENOIDA. 319
11.5 INDUKSI MAGNET OLEH TOROIDA. 320

11.6 GERAK MUATAN LISTRIK DAN MEDAN MAGNET 321
11.7 KUMPARAN DALAM MEDAN MAGNET 323
11.8 PEMAKAIAN MEDAN MAGNET 326
11.9 ALAT-ALAT UKUR LISTRIK 329
11.10 GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK 331
11.11 UJI KOMPETENSI 336
BAB 12 341
OPTIKA GEOMETRI 341
12.1. OPTIKA GEOMETRI 344
12.2. SIFAT GELOMBANG DARI CAHAYA 370
12.3. ALAT-ALAT OPTIK 376
12.4. PERCOBAAN 388
12.5. SOAL UJI KOMPETENSI 389
12.6. RANGKUMAN 390
12.7. SOAL-SOAL 393
BAB 13 397
LISTRIK STATIS DAN DINAMIS 397
13.1 URAIAN DAN CONTOH SOAL 399
13.2 MUATAN LISTRIK 399
13.3. HUKUM COULOMB 400
13.4 MEDAN LISTRIK 406
13.5 KUAT MEDAN LISTRIK 408
13.6 HUKUM GAUSS 412
13.7 POTENSIAL DAN ENERGI POTENSIAL 417
13.8 KAPASITOR 420
13.9 UJI KOMPETENSI 434
BAB 14 437
RANGKAIAN ARUS SEARAH 437
14.1 ARUS SEARAH DALAM TINJAU MIKROSKOPIS ... 440
14.2 HUKUM OHM 446
14.3 GGL DAN RESISTANSI DALAM 447
14.4 HUKUM KIRCHHOFF 450
14.5 SAMBUNGAN RESISTOR 453
14.6 RANGKUMAN 478
14.7 SOAL UJI KOMPETENSI 479
BAB 15 487
ARUS BOLAK BALIK 487
15.1 RESISTOR DALAM RANGKAIAN SUMBER TEGANGAN SEARAH 490
15.2 GEJALA PERALIHAN PADA INDUKTOR 491
15.3 GEJALA TRANSIEN PADA KAPASITOR 494

15.4. SUMBER TEGANGAN BOLAK BALIK.....501
15.5. RESISTOR DALAM RANGKAIAN SUMBER TEGANGAN BOLAK BALIK 502
15.6. NILAI ROOT–MEANS–SQUARED (RMS) UNTUK TEGANGAN DAN ARUS BOLAK BALIK.....504
15.7. DAYA DALAM RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK..505
15.8. INDUKTOR DALAM RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK506
15.9. RANGKAIAN *RLC*–SERI.....510
15.10 IMPEDANSI.....511
15.11 PERUMUSAN IMPEDANSI RANGKAIAN *RL*–SERI 515
15.12 PERUMUSAN IMPEDANSI RANGKAIAN *RC*–SERI 515
15.13 PERUMUSAN IMPEDANSI RANGKAIAN *RLC*–SERI 518
15.14 RESONANSI PADA RANGKAIAN *RLC*–SERI.....519
15.15 RINGKASAN RANGKAIAN *RLC*–SERI DALAM ARUS BOLAK BALIK.....521
15.16. SOAL UJI KOMPETENSI.....529
15.17 RANGKUMAN 534

LAMPIRAN A DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN B GLOSARIUM

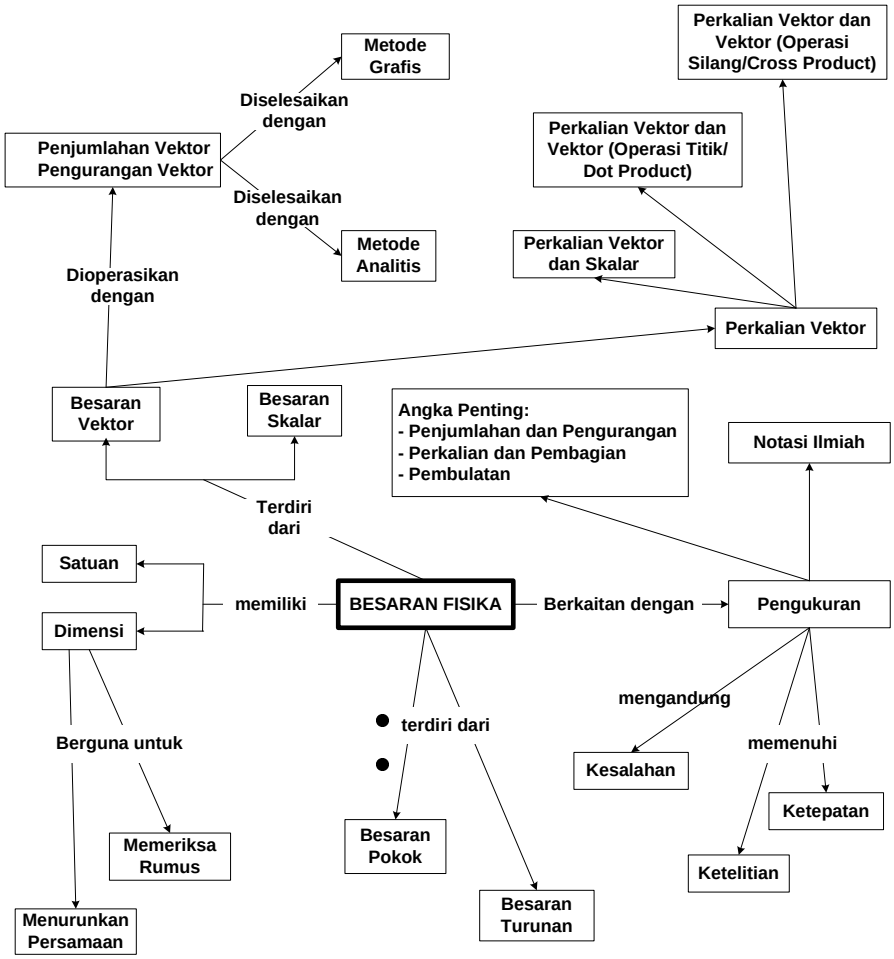
BAB 1
BESARAN DAN SATUAN



Sumber: Serway dan Jewett, Physics for Scientists and Engineers, 6th edition, 2004

Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak terlepas dari persoalan ukur mengukur suatu benda, karena pengukuran yang dilakukan untuk membantu siapa saja agar dapat melakukan sesuatu dengan benar. Dalam ilmu pengetahuan biasanya pengukuran dilakukan untuk menguji kebenaran suatu teori. Lord Kelvin, seorang fisikawan berkata "Bila kita dapat mengukur apa yang sedang kita bicarakan dan menyatakannya dengan angka-angka berarti kita mengetahui apa yang sedang kita bicarakan itu". Pada saat kita mulai melakukan pengukuran kuantitatif, maka kita perlu suatu sistem satuan untuk memungkinan kita berkomunikasi dengan orang lain dan juga untuk membandingkan hasil pengukuran kita.

PETA KONSEP



Pra Syarat

Agar dapat mempelajari bab ini dengan baik, Anda dituntut sudah tuntas melakukan operasi aljabar matematik yang meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian dengan menggunakan bilangan bulat, pecahan bentuk desimal, dan bilangan baku.

Cek Kemampuan

1. Apakah yang dimaksud dengan besaran, besaran pokok, dan besaran turunan? Berilah masing-masing tiga contoh besaran pokok dan turunan yang Anda temukan dalam kehidupan sehari-hari, beserta satuannya!
2. Apakah yang dimaksud dengan dimensi? Jelaskan bahwa analisis dimensi sangat bermanfaat dalam menguji kaitan berbagai besaran!
3. Apakah yang dimaksud dengan kegiatan pengukuran? Mengapa penggunaan satuan baku dalam suatu pengukuran adalah hal yang sangat penting? Berikan contoh untuk memperjelas jawaban Anda!
4. Apakah yang dimaksud dengan angka penting? Sebutkan kriteria sehingga suatu angka tergolong sebagai angka penting! Mengapa angka penting perlu diperhatikan dalam pelaporan hasil pengukuran?
5. Sebutkan operasi yang dilakukan untuk menjumlahkan dua atau lebih besaran vektor!

1.1 Besaran dan Satuan

Hasil pengukuran selalu mengandung dua hal, yakni: kuantitas atau nilai dan satuan. Sesuatu yang memiliki kuantitas dan satuan tersebut dinamakan besaran. Berbagai besaran yang kuantitasnya dapat diukur, baik secara langsung maupun tak langsung, disebut besaran fisis, misalnya panjang dan waktu. Tetapi banyak juga besaran-besaran yang dikategorikan non-fisis, karena kuantitasnya belum dapat diukur, misalnya cinta, bau, dan rasa.

Diskusikan dengan teman-temanmu, mungkinkah suatu besaran nonfisis suatu saat akan menjadi besaran fisis?

Dahulu orang sering menggunakan anggota tubuh sebagai satuan pengukuran, misalnya jari, hasta, kaki, jengkal, dan depa. Namun satuan-satuan tersebut menyulitkan dalam komunikasi, karena nilainya berbeda-beda untuk setiap orang. Satuan semacam ini disebut satuan tak baku. Untuk kebutuhan komunikasi, apalagi untuk kepentingan ilmiah, pengukuran harus menggunakan satuan baku, yaitu satuan pengukuran yang

nilainya tetap dan disepakati secara internasional, misalnya meter, sekon, dan kilogram.

Adanya kemungkinan perbedaan penafsiran terhadap hasil pengukuran dengan berbagai standar tersebut, memacu para ilmuwan untuk menetapkan suatu sistem satuan internasional yang digunakan sebagai acuan semua orang di penjuru dunia. Pada tahun 1960, dalam *The Eleventh General Conference on Weights and Measures* (Konferensi Umum ke-11 tentang Berat dan Ukuran) yang diselenggarakan di Paris, ditetapkanlah suatu sistem satuan internasional, yang disebut sistem SI (Sistem International). Sampai saat ini ada dua jenis satuan yang masih digunakan, yaitu:

1) Sistem metrik
2) Sistem Inggris (imperial sistem)

Sistem metrik dikenal sebagai: meter, kilogram, dan sekon (disingkat MKS), sistem Inggris dikenal sebagai: *foot, pound* dan s*econd* (disingkat FPS). Dalam Sistem Internasional dikenal dua besaran yaitu besaran pokok dan besaran turunan.

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya ditetapkan lebih dulu atau besaran yang satuannya didefinisikan sendiri berdasarkan hasil konferensi internasional mengenai berat dan ukuran. Berdasar Konferensi Umum mengenai Berat dan Ukuran ke-14 tahun 1971, besaran pokok ada tujuh, yaitu panjang, massa, waktu, kuat arus listrik, temperatur, jumlah zat, dan intensitas cahaya. Tabel 1.1 menunjukkan tujuh besaran pokok tersebut beserta satuan dan dimensinya.

Tabel 1.1 Besaran Pokok dan Satuannya dalam SI

No	**Besaran**	**Satuan dasar SI**	**Simbol**	**Dimensi**
1	Panjang	meter	m	[L]
2	Massa	kilogram	kg	[M]
3	Waktu	sekon	s	[T]
4	Arus Listrik	ampere	A	[I]
5	Suhu	kelvin	K	[θ]

6	Jumlah Zat	mol	mol	[N]
7	Intensitas Cahaya	kandela	cd	[J]

Besaran turunan adalah besaran yang dapat diturunkan atau diperoleh dari besaran-besaran pokok. Satuan besaran turunan diperoleh dari satuan-satuan besaran pokok yang menurunkannya, seperti terlihat dalam Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Contoh besaran turunan

Besaran	**Rumus**	**Satuan**	**Dimensi**
Volume	Panjang × lebar × tinggi	m^3	$[L^3]$
Kecepatan	Perpindahan/waktu	$m.s^{-1}$	$[LT^{-1}]$
Momentum	Massa × kecepatan	$kg.m.s^{-1}$	$[MLT^{-1}]$

Tabel 1.3. Satuan besaran mekanika

Sistem Satuan	**Panjang**	**Massa**	**Waktu**	**Gaya**
Statis Besar	M	Kgm	s	kg.gaya
Statis Kecil	cm	grm	s	g.gaya
Dinamis Besar	m	kg	s	Newton
Dinamis Kecil	cm	gr	s	dyne
Inggris Absolut	ft (foot)	lbm (pound mass)	s	pdl (poundal)
Inggris Teknik	ft	slug	s	lbf(pound force)

Di samping diperoleh dari penjabaran satuan besaran pokok yang terkait, satuan besaran turunan sering juga diambil dari nama orang yang berjasa di bidang tersebut. Sebagai contoh, satuan gaya (F) adalah $kg.m.s^{-2}$ sering dinyatakan dengan newton (N), satuan usaha (W) adalah $kg.m^2.s^{-2}$ sering dinyatakan dengan joule (J).

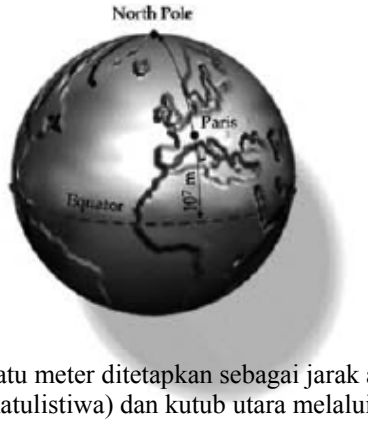
1.2 Standar Satuan Besaran

Standar untuk Satuan Panjang

Satuan standar untuk panjang adalah meter. Panjang merupakan besaran pokok yang digunakan untuk mengukur jarak antara dua titik dan ukuran geometri sebuah benda. Sebagai contoh, panjang sebuah silinder adalah 15 cm dan diameternya 6 cm, jarak kota A ke kota B adalah 1000 m.

Standar untuk satuan panjang adalah meter (m), secara orisinal dinyatakan dengan dua goresan pada batang meter standar yang terbuat dari campuran platinum-iridium yang disimpan di the International Bureau of Weights and Measures (Sevres, Frances). Jarak yang ditetapkan untuk satu meter adalah jarak antara equator dan kutub utara sepanjang meridian melalui Paris sebesar 10 juta meter, seperti pada terlihat Gambar 1.2.

Pada tahun 1960, mengenai suatu standar atomik untuk panjang, satu meter didefinisikan sama dengan 1.650.763,73 kali panjang gelombang sinar jingga yang dipancarkan oleh atom-atom gas Krypton-86 (Kr-86) di dalam ruang hampa pada suatu loncatan listrik. Pada bulan November 1983, definisi standar meter diubah lagi dan ditetapkan menjadi "satu meter adalah jarak yang ditempuh cahaya (dalam vakum) pada selang waktu 1/299.792.458 sekon". Perubahan ini dilakukan berdasarkan nilai kecepatan cahaya yang dianggap selalu konstan 299.792.458 m/s.



Gambar 1.2. Satu meter ditetapkan sebagai jarak antara equator (katulistiwa) dan kutub utara melalui Paris
(**Sumber:** Tipler, Physics for Scientists and Engineers, 5th edition)

Standar untuk Satuan Massa

Standar untuk satuan massa adalah sebuah silinder platinum-iridium yang disimpan di lembaga Berat dan Ukuran

Internasional dan berdasarkan perjanjian Internasional disebut sebagai massa sebesar satu kilogram. Standar sekunder dikirimkan ke laboratorium standar di berbagai negara dan massa dari benda-benda lain dapat ditentukan dengan menggunakan neraca berlengan-sama dengan ketelitian 2 bagian dalam 10^8. Turunan standar massa internasioanl untuk Amerika Serikat dikenal dengan Kilogram prototip No.20, ditempatkan dalam suatu kubah di Lembaga Standar Nasional, seperti terlihat pada Gambar 1.3.a.

Standar untuk Satuan Waktu

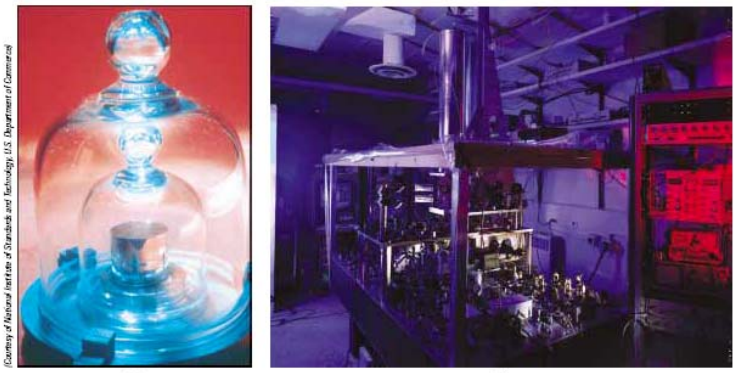
Standar untuk satuan waktu adalah sekon (s) atau detik. Standar waktu yang masih dipakai sekarang didasarkan pada hari matahari rata-rata. Satu sekon atau satu detik didefinisikan sebagai selang waktu yang diperlukan oleh atom cesium-133 untuk melakukan getaran sebanyak 9.192.631.770 kali dalam transisi antara dua tingkat energi di tingkat energi dasarnya.

Jam atomik jenis tertentu, yang didasarkan atas frekuensi karakteristik dari isotop Cs^{133}, telah digunakan di Laboratorium Fisis Nasional, Inggris sejak tahun 1955. Gambar 1.3.b memperlihatkan jam yang serupa di Lembaga Standar Nasional, Amerika Serikat.

Standar untuk satuan Arus listrik, Suhu, Intensitas Cahaya dan Jumlah Zat

Secara singkat standar untuk Arus listrik, Suhu, Intensitas Cahaya dan Jumlah Zat dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Satu Ampere adalah jumlah muatan listrik satu coulomb (1 coulomb = $6{,}25.10^{18}$ elektron) yang melewati suatu penampang dalam 1 detik.
2. Suhu titik lebur es pada 76 cmHg adalah : T = 273,15 K, Suhu titik didih air pada 76 cmHg adalah : T = $373{,}15^0$ K.
3. Satuan Kandela adalah benda hitam seluas 1 m^2 yang bersuhu hk lebur platina (1773 ^oC) akan memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar 6 x 10^5 kandela.
4. Satu mol zat terdiri atas 6,025 x 10^{23} buah partikel. (6,025 x 10^{23} disebut dengan bilangan Avogadro).



Gambar 1.3 a) Kilogram standar No.20 yang disimpan di Lembaga Standar Nasional Amerika Serikat. Kilogram standar berupa silinder platinum, disimpan di bawah dua kubah kaca berbentuk lonceng. b) Standar frekuensi atomik berkas cesium di laboratorium Boulder di Lembaga Standar Nasional (Sumber: Serway dan Jewett, Physics for Scientists and Engineers, 6th edition, 2004)

Tabel 1.4 Awalan-awalan SI

Faktor	Awalan	Simbol	Faktor	Awalan	Simbol
10^{1}	deka (*deca*)	da	10^{-1}	desi (*deci*)	d
10^{2}	hekto (*hecto*)	H	10^{-2}	senti (*centi*)	c
10^{3}	Kilo	K	10^{-3}	mili (*milli*)	m
10^{6}	Mega	M	10^{-6}	mikro (*micro*)	μ
10^{9}	Giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	piko (*pico*)	p
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	Femto	f
10^{18}	eksa (*exa*)	E	10^{-18}	atto	a

1.3 Macam Alat Ukur

Alat Ukur Panjang dan Ketelitiannya

Macam Alat Ukur
Alat Ukur Panjang dan Ketelitiannya

A. Mistar

Alat ukur panjang yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah mistar. Skala terkecil dari mistar adalah 1 mm (0,1 cm) dan ketelitiannya setengah skala terkecil 0, 5 mm (0,05 cm).



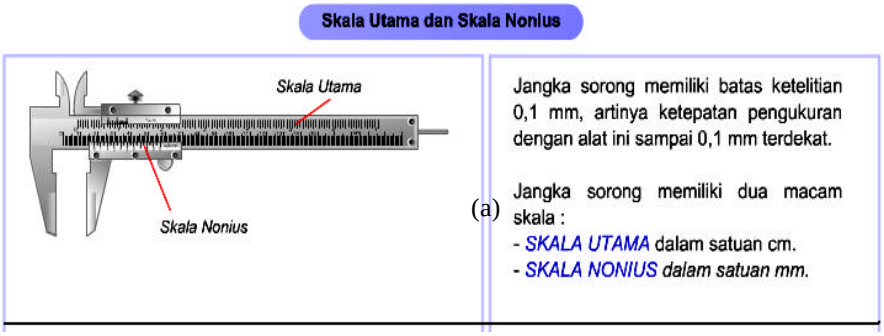


(a) (b)

Gambar 1.4 Mistar : a) Mistar dengan jangkauan pengukuran 10,5 cm, b) Contoh mengukur panjang menggunakan mistar

B. Jangka Sorong

Dalam praktiknya, mengukur panjang kadang-kadang memerlukan alat ukur yang mampu membaca hasil ukur sampai ketelitian 0,1 mm (0,01 cm), untuk pengukuran semacam ini kita bisa menggunakan jangka sorong.

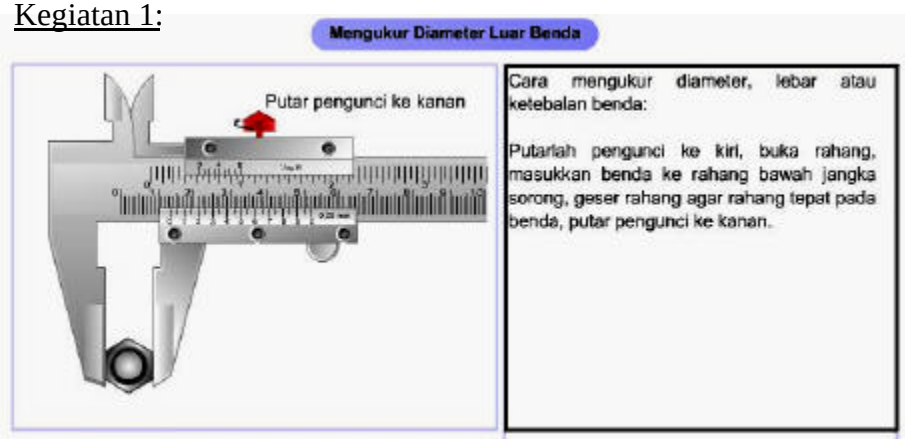




(b)

Gambar 1.5 Jangka Sorong a) Skala utama dan skala nonius. b) Cara membaca skala
(Sumber: http://www.e-dukasi.net)

Kegiatan 1:

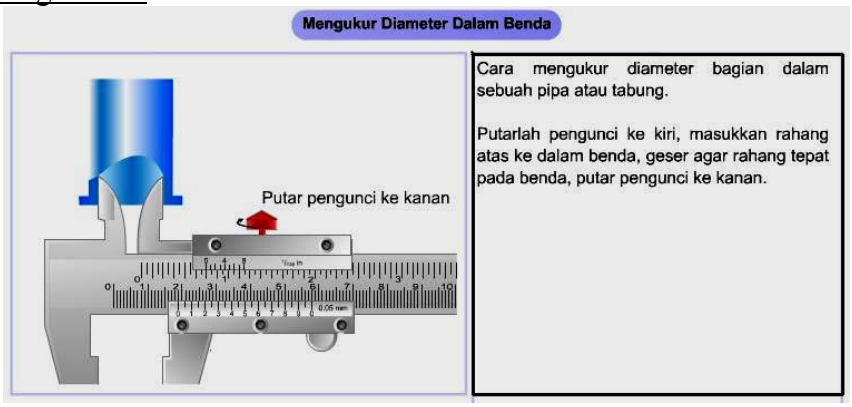


Tugas:

Coba ulangi kegiatan 1 dengan dua macam benda yang berbeda.

a) Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang anda ukur.
b) Nyatakan hasil yang anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 2:



Tugas:

Coba ulangi kegiatan 2 dengan dua macam benda yang berbeda.

a) Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang anda ukur.
b) Nyatakan hasil yang anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 3:



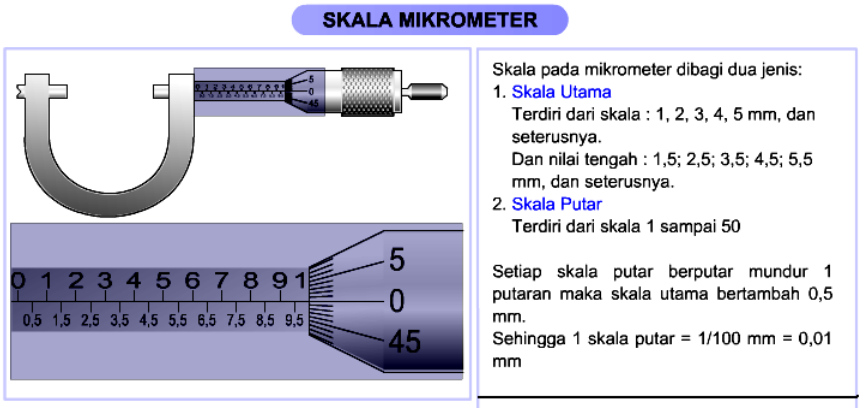
Tugas:

Coba ulangi kegiatan 3 dengan dua macam benda yang berbeda.

a) Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang anda ukur.
b) Nyatakan hasil yang anda dapat dengan satuan cm dan mm.

C. Mikrometer Sekrup

Alat ukur panjang yang paling teliti adalah mikrometer sekrup yang memiliki ketelitian 0,001 mm, biasanya digunakan oleh para teknisi mesin, terutama pada saat penggantian komponen mesin yang mengalami keausan.



Gambar 1.6 Pembacaan skala Mikrometer. (Sumber: http://www.e-dukasi.net)

Kegiatan 4: Pembacaan skala diameter ulir



Tugas:

Coba ulangi kegiatan 4 dengan dua macam benda yang berbeda.

a) Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang anda ukur.
b) Nyatakan hasil yang anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 5: Pembacaan skala ketebalan benda



Tugas:

Coba ulangi kegiatan 5 dengan dua macam benda yang berbeda.

a) Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang anda ukur.
b) Nyatakan hasil yang anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 6: Pembacaan skala diameter mur



Tugas:
Coba ulangi kegiatan 6 dengan dua macam benda yang berbeda.

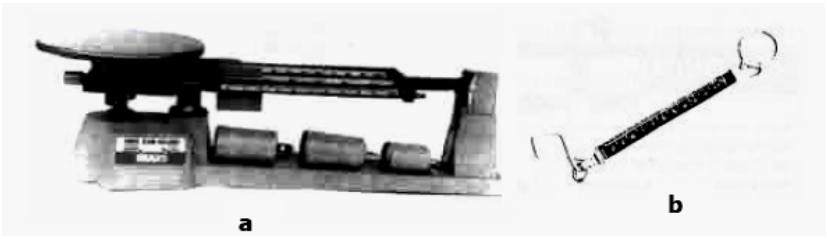
a) Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang anda ukur.
b) Nyatakan hasil yang anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Alat Ukur Massa

Dalam kehidupan sehari-hari, massa sering diartikan sebagai berat, tetapi dalam tinjauan fisika kedua besaran tersebut berbeda. Massa tidak dipengaruhi gravitasi, sedangkan berat dipengaruhi oleh gravitasi. Seorang astronot ketika berada di Bulan beratnya berkurang, karena gravitasi Bulan lebih kecil dibanding gravitasi Bumi, tetapi massanya tetap sama dengan di Bumi. Bila satuan SI untuk massa adalah kilogram (kg), satuan SI untuk berat adalah newton (N). Massa diukur dengan neraca lengan, berat diukur dengan neraca pegas, sebagaimana terlihat pada Gambar 1.7. Neraca lengan dan neraca pegas termasuk jenis neraca mekanik. Sekarang, sudah banyak digunakan jenis neraca lain yang lebih teliti, yaitu neraca elektronik.

Selain kilogram (kg), massa benda juga dinyatakan dalam satuan-satuan lain, misalnya: gram (g), miligram (mg), dan ons untuk massa-massa yang kecil; ton (t) dan kuintal (kw) untuk massa
yang besar.

1 ton = 10 kuintal = 1.000 kg
1 kg = 1.000 g = 10 ons



Gambar 1.7 a) Neraca lengan b) Neraca pegas (Sumber: Dikmenjur, Bahan Ajar Modul Manual Untuk SMK Bidang Adaptif Mata Pelajaran Fisika, 2004)

Alat Ukur Waktu

Waktu adalah selang antara dua kejadian/peristiwa. Misalnya, waktu siang adalah sejak matahari terbit hingga matahari tenggelam, waktu hidup adalah sejak dilahirkan hingga meninggal. Untuk peristiwa-peristiwa yang selang terjadinya cukup lama, waktu dinyatakan dalam satuan-satuan yang lebih besar, misalnya: menit, jam, hari, bulan, tahun, abad dan lain-lain.

Sedangkan, untuk kejadian-kejadian yang cepat sekali bisa digunakan satuan milisekon (ms) dan mikrosekon (μs). Untuk keperluan sehari-hari, telah dibuat alat-alat pengukur waktu, misalnya *stopwatch* dan jam tangan seperti terlihat pada Gambar 1.8**.**



Gambar 1.8 *Stopwatch* dan Jam (Sumber: Dikmenjur, Bahan Ajar Modul Manual Untuk SMK Bidang Adaptif Mata Pelajaran Fisika, 2004)

1.4 Konversi Satuan

Dengan adanya sistem satuan, maka diperlukan pengetahuan untuk dapat menentukan perubahan satuan dari satu sistem ke sistem yang lain yang dikenal dengan istilah *konversi satuan*. Berikut ini diberikan konversi satuan-satuan penting yang biasa digunakan.

Panjang

1 yard = 3ft = 36 in
1 in = 0,0254 m = 2,54 cm
1 mile = 1609 m
1 mikron = 10^{-6} m
1 Angstrom = 10^{-10} m

Luas

1 ft^2 = 9,29 x 10^{-2} m^2
1 are = 100 m^2

Massa
1 lb = 0,4536 kg
1 slug = 14,59 kg
1 ton = 1000 kg

Volume
1 liter = 10^{-3} m^3
1 ft^3 = 2,832 x 10^{-2} m^3
1 gallon (UK) = 4,546 liter
1 gallon (US) = 3,785 liter
1 barrel (UK) = 31, 5 gallon
1 barrel (US) = 42 gallon

Massa Jenis
1 lb/ft^3 = 16,0185 kg/m^3

Kecepatan
1 mile/jam = 1,609 km/jam
1 knot = 1,852 km/jam
1 ft/s = 0,3048 m/s

Gaya
1 lbf = 4,448 N
1 dyne = 10^{-5} N
1 kgf = 9,807 N

Tekanan
1 atm = 76 cm Hg
= 1,013 x 10^5 N/m^2
= 1013 millibar
= 14,7 lb/in^2
1 Pa = 1 N/m^2
1 bar = 10^6 $dyne/cm^2$
= 10^5 Pa

Energi
1 BTU = 1055 J = 252 kal
1 kal = 4, 186 J
1 ft lb = 1, 356 J
1 hp jam = 2, 685 x 10^6 J
1 erg = 10^{-7} J

Daya
1 hp = 745,4 W
1 kW = 1,341 hp
1 BTU/jam = 0,293 W
1 kal/s = 4,186 W

Waktu
1 hari = 24 jam
1 jam = 60 menit
1 menit = 60 sekon

Contoh Soal 1:

Kapal pesiar Panji Asmara melaju dari pelabuhan Tanjung Priok ke pelabuhan Tanjung Emas dengan kecepatan rata-ratanya sebesar 5 knot. Berapakah kecepatan kapal tersebut bila dinyatakan dalam m/s, dan bila dalam perjalanannya menempuh jarak sejauh 300 km, berapa waktu dalam detik yang digunakan untuk menempuh jarak tersebut?

Penyelesaian:
Diketahui: kecepatan = 5 knot dan jarak tempuh = 300 km

Mengingat 1 knot = 1,852 km/jam = 1,852 x (1000 m/3600 s) = 0,51444 m/det, maka kecepatan kapal pesiar tersebut adalah = 5 knot = 5 x (0,51444 m/s) = **2,5722 m/s.**

Ingat hubungan antara kecepatan, jarak dan waktu yang membentuk sebuah persamaan gerak, yaitu:

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{Jarak tempuh}}{\text{Waktu tempuh}}$$

sehingga untuk mencari waktu tempuh didapatkan hubungan,

$$\text{Waktu tempuh} = \frac{\text{Jarak tempuh}}{\text{Kecepatan}} = \frac{300\,\text{km} = 300000\,\text{m}}{2{,}5722\,\text{m/s}} = 116631{,}68\,\text{s}$$

Waktu yang diperlukan kapal pesiar untuk menempuh jarak 300 km adalah: **116631, 68 s** atau sekitar 32 jam.

Contoh Soal 2:
Harga minyak mentah di pasar dunia pada bulan ini berkisar Rp. 578.900,00 per barrel (UK). Berapakah harga per liternya?

Penyelesaian:
Ingat, 1 barrel (UK) = 31,5 gallon = 31,5 x 4,546 liter = 143,199 liter
Jadi harga per liternya = Rp. 578.900,00 : 143,199 liter = Rp. 4042,626

1.5 Dimensi

Untuk menyederhanakan pernyataan suatu besaran turunan dengan besaran pokok digunakan dengan simbol yang disebut *dimensi* besaran, lihat tabel 1.5. Apabila suatu persamaan fisika terdiri dari banyak suku yang berisi besaran-besaran, maka setiap suku tersebut harus berdimensi sama.

Tabel 1.5 Lambang dimensi besaran pokok

No	Besaran	Dimensi
1	Panjang	[L]
2	Massa	[M]
3	Waktu	[T]
4	Arus Listrik	[I]
5	Suhu	[θ]
6	Jumlah Zat	[N]
7	Intensitas Cahaya	[J]

Contoh Soal 3:
Tuliskan dimensi dari satuan besaran fisis berikut (a). tekanan, (b). daya, (c). kecepatan anguler.

Penyelesaian:
(a). Satuan (SI) tekanan adalah newton/m^2, dengan newton = kg m/s^2
yang berdimensi MLT^{-2} dan m^2 berdimensi L^2 maka dimensi tekanan adalah : $\frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$

(b). Satuan daya (SI) adalah watt = joule/sekon, dengan Joule = Newton.meter sehingga dimensi daya adalah $MLT^{-2}.L = ML^2 T^{-2}$.

(c). Kecepatan anguler mempunyai rumus:

$\omega = \frac{v}{R} = \frac{kecepatan\ linier}{radius} = \frac{m/s}{m} = s^{-1}$ sehingga berdimensi T^{-1}.

Kegunaan dimensi adalah:

a) Mengungkapkan adanya kesamaan atas kesataraan antara dua besaran yang kelihatanya berbeda.
b) Menyatakan benar tidaknya suatu persamaan yang ada hubungannya dengan besaran fisika.

1.6 Angka Penting

Semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran disebut **Angka Penting**, terdiri atas angka-angka pasti dan angka-angka terakhir yang ditaksir (angka taksiran).

Aturan penulisan/penyajian angka penting dalam pengukuran:

1. Semua angka yang bukan nol adalah angka penting.
   Contoh: 72,753 (5 angka penting).
2. Semua angka nol yang terletak di antara angka-angka bukan nol adalah angka penting.
   Contoh: 9000,1009 (9 angka penting).
3. Semua angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir, tetapi terletak di depan tanda desimal adalah angka penting.
   Contoh: 3,0000 (5 angka penting).
4. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan di belakang tanda desimal adalah angka penting.
   Contoh: 67,50000 (7 angka penting).
5. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan tidak dengan tanda desimal adalah angka tidak penting.
   Contoh: 4700000 (2 angka penting).
6. Angka nol yang terletak di depan angka bukan nol yang pertama adalah angka tidak penting.
   Contoh: 0,0000789 (3 angka penting).

Ketentuan - Ketentuan Pada Operasi Angka Penting:

1. Hasil operasi penjumlahan dan pengurangan dengan angka-angka penting hanya boleh terdapat *Satu Angka Taksiran* saja.
   Contoh: 2,34 angka 4 = angka taksiran
   0,345 + angka 5 = angka taksiran
   2,685 angka 8 dan 5 (dua angka terakhir) taksiran maka ditulis: 2,69
   (Untuk penambahan/pengurangan perhatikan angka di belakang koma yang paling sedikit).
   13,46 angka 6 = angka taksiran
   2,2347 - angka 7 = angka taksiran
   11,2253 angka 2, 5 dan 3 (tiga angka terakhir) taksiran
   maka ditulis : 11,23
2. Angka penting pada hasil perkalian dan pembagian, sama banyaknya dengan angka penting yang paling sedikit.
   Contoh: 8,141 (empat angka penting)
   0,22 x (dua angka penting)
   1,79102
   Penulisannya: 1,79102 ditulis 1,8 (dua angka penting)

   1,432 (empat angka penting)
   2,68 : (tiga angka penting)
   0,53432
   Penulisannya: 0,53432 ditulis 0,534 (tiga angka penting)

3. Untuk angka 5 atau lebih dibulatkan ke atas, sedangkan angka kurang dari 5 dihilangkan, Jika angkanya tepat sama dengan 5, dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya ganjil dan dibulatkan ke bawah jika angka sebelumnya genap.
   Contoh: Bulatkanlah sehingga mempunyai tiga angka penting:
   a) 24,48 (4 angka penting) → 24,5
   b) 56,635 (5 angka penting) → 56,6
   c) 73,054 (5 angka penting) → 73,1
   d) 33,127 (5 angka penting) → 33,1

1.7 Notasi Ilmiah (Bentuk Baku)

Dari hasil pengukuran besaran fisika banyak dijumpai bilangan-bilangan yang memiliki angka yang banyak, sehingga dalam penulisannya memerlulkan tempat lebar. Untuk menyingkat penulisan bilangan tersebut diambil kesepakatan yaitu bentuk bilangan sepeluh berpangkat yang disebut notasi ilmiah.

Secara umum *Notasi Ilmiah* atau *Cara Baku* dapat ditulis sebagai berikut:

$$R \cdot 10^{x}$$

dengan: *R*, (angka-angka penting)
10^{x} disebut orde
x bilangan bulat positif atau negatif

Contoh: - Massa bumi = $5{,}98 \cdot 10^{24}$ (tiga angka penting)
- Massa elektron = $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ (dua angka penting)
- 0,00000435 = $4{,}35 \cdot 10^{-6}$ (tiga angka penting)
- 345000000 = $3{,}45 \cdot 10^{8}$ (tiga angka penting)

1.8 Pengukuran

Pengukuran merupakan kegiatan sederhana, tetapi sangat penting dalam kehidupan kita. Pengukuran merupakan kegiatan membandingkan suatu besaran dengan besaran lain sejenis yang dipergunakan sebagai satuannya. Misalnya, Anda mengukur panjang buku dengan mistar, artinya Anda membandingkan panjang buku tersebut dengan satuan-satuan panjang yang ada di mistar, yaitu milimeter atau centimeter, sehingga diperoleh hasil pengukuran, panjang buku adalah 210 mm atau 21 cm. Fisika merupakan ilmu yang memahami segala sesuatu tentang gejala alam melalui pengamatan atau observasi dan memperoleh kebenarannya secara empiris melalui panca indera. Karena itu, pengukuran merupakan bagian yang sangat penting dalam proses membangun konsep-konsep fisika.

Ada dua hal yang perlu diperhatikan dalam kegiatan pengukuran, pertama masalah ketelitian (presisi) dan kedua

masalah ketepatan (akurasi). Presisi menyatakan derajat kepastian hasil suatu pengukuran, sedangkan akurasi menunjukkan seberapa tepat hasil pengukuran mendekati nilai yang sebenarnya. Presisi bergantung pada alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran. Umumnya, semakin kecil pembagian skala suatu alat semakin presisi hasil pengukuran alat tersebut.

Mistar umumnya memiliki skala terkecil 1 mm, sedangkan jangka sorong mencapai 0,1 mm atau 0,05 mm, maka pengukuran menggunakan jangka sorong akan memberikan hasil yang lebih presisi dibandingkan menggunakan mistar. Meskipun memungkinkan untuk mengupayakan kepresisian pengukuran dengan memilih alat ukur tertentu, tetapi tidak mungkin menghasilkan pengukuran yang tepat (akurasi) secara mutlak. Keakurasian pengukuran harus dicek dengan cara membandingkan terhadap nilai standard yang ditetapkan. Keakurasian alat ukur juga harus dicek secara periodik dengan metode *the two-point calibration*. Pertama, apakah alat ukur sudah menunjuk nol sebelum digunakan? Kedua, apakah alat ukur memberikan pembacaan ukuran yang benar ketika digunakan untuk mengukur sesuatu yang standar?

A. Sumber-sumber ketidakpastian dalam pengukuran

Mengukur selalu menimbulkan ketidakpastian. Artinya, tidak ada jaminan bahwa pengukuran ulang akan memberikan hasil yang tepat sama. Ada tiga sumber utama yang menimbulkan ketidakpastian pengukuran, yaitu:

1. Ketidakpastian Sistematik

Ketidakpastian sistematik bersumber dari alat ukur yang digunakan atau kondisi yang menyertai saat pengukuran. Bila sumber ketidakpastian adalah alat ukur, maka setiap alat ukur tersebut digunakan akan memproduksi ketidakpastian yang sama. Yang termasuk ketidakpastian sistematik antara lain:

- Ketidakpastian Alat

Ketidakpastian ini muncul akibat kalibrasi skala penunjukkan angka pada alat tidak tepat, sehingga pembacaan skala menjadi tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Misalnya,

kuat arus listrik yang melewati suatu beban sebenarnya 1,0 A, tetapi bila diukur menggunakan suatu Ampermeter tertentu selalu terbaca 1,2 A. Karena selalu ada penyimpangan yang sama, maka dikatakan bahwa Ampermeter itu memberikan ketidakpastian sistematik sebesar 0,2 A.Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, alat harus di kalibrasi setiap akan dipergunakan.

- Kesalahan Nol

Ketidaktepatan penunjukan alat pada skala nol juga melahirkan ketidakpastian sistematik. Hal ini sering terjadi, tetapi juga sering terabaikan. Sebagian besar alat umumnya sudah dilengkapi dengan sekrup pengatur/pengenol. Bila sudah diatur maksimal tetap tidak tepat pada skala nol, maka untuk mengatasinya harus diperhitungkan selisih kesalahan tersebut setiap kali melakukan pembacaan skala.

- Waktu Respon Yang Tidak Tepat

Ketidakpastian pengukuran ini muncul akibat dari waktu pengukuran (pengambilan data) tidak bersamaan dengan saat munculnya data yang seharusnya diukur, sehingga data yang diperoleh bukan data yang sebenarnya. Misalnya, kita ingin mengukur periode getar suatu beban yang digantungkan pada pegas dengan menggunakan *stopwatch*. Selang waktu yang diukur sering tidak tepat karena pengukur terlalu cepat atau terlambat menekan tombol *stopwatch* saat kejadian berlangsung.

- Kondisi Yang Tidak Sesuai

Ketidakpastian pengukuran ini muncul karena kondisi alat ukur dipengaruhi oleh kejadian yang hendak diukur. Misalkan mengukur panjang kawat baja pada suhu tinggi menggunakan mistar logam. Hasil yang diperoleh tentu bukan nilai yang sebenarnya karena panas mempengaruhi objek yang diukur maupun alat pengukurnya.

2. Ketidakpastian Random (Acak)

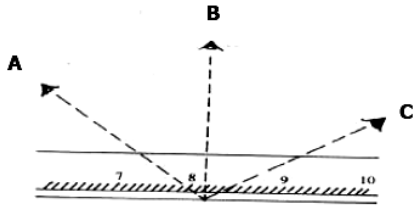
Ketidakpastian random umumnya bersumber dari gejala yang tidak mungkin dikendalikan secara pasti atau tidak dapat diatasi secara tuntas. Gejala tersebut umumnya merupakan perubahan yang sangat cepat dan acak hingga pengaturan atau pengontrolannya di luar kemampuan kita.

Misalnya:

- Fluktuasi pada besaran listrik. Tegangan listrik selalu mengalami fluktuasi (perubahan terus menerus secara cepat dan acak). Akibatnya kalau kita ukur, nilainya juga berfluktuasi. Demikian pula saat kita mengukur kuat arus listrik.
- Getaran landasan. Alat yang sangat peka (misalnya seismograf) akan melahirkan ketidakpastian karena gangguan getaran landasannya.
- Radiasi latar belakang. Radiasi kosmos dari angkasa dapat mempengaruhi hasil pengukuran alat pencacah, sehingga melahirkan ketidakpastian random.
- Gerak acak molekul udara. Molekul udara selalu bergerak secara acak (gerak Brown), sehingga berpeluang mengganggu alat ukur yang halus, misalnya mikro-galvanometer dan melahirkan ketidakpastian pengukuran.

3. Ketidakpastian Pengamatan

Ketidakpastian pengamatan merupakan ketidakpastian pengukuran yang bersumber dari kekurangterampilan manusia saat melakukan kegiatan pengukuran. Misalnya: metode pembacaan skala tidak tegak lurus (paralaks), salah dalam membaca skala, dan pengaturan atau pengesetan alat ukur yang kurang tepat.



Gambar 1. 1 Posisi A dan C menimbulkan kesalahan paralaks. Posisi B yang benar.

Seiring kemajuan teknologi, alat ukur dirancang semakin canggih dan kompleks, sehingga banyak hal yang harus diatur sebelum alat tersebut digunakan. Bila yang mengoperasikan tidak terampil, semakin banyak yang harus diatur semakin besar kemungkinan untuk melakukan kesalahan sehingga memproduksi ketidakpastian yang besar pula.

Besarnya ketidakpastian berpotensi menghasilkan produk yang tidak berkualitas, sehingga harus selalu diusahakan untuk memperkecil nilainya, di antaranya dengan kalibrasi, menghindari gangguan luar, dan hati-hati dalam melakukan pengukuran.

Setiap pengukuran berpotensi menimbulkan ketidakpastian. Ketidakpastian yang besar menggambarkan kalau pengukuran itu tidak baik. Usahakan untuk mengukur sedemikian sehingga ketidakpastian bisa ditekan sekecil-kecilnya

B. Melaporkan hasil pengukuran

Dengan melakukan pengukuran suatu besaran secara langsung, misalnya mengukur panjang pensil dengan mistar atau diameter kelereng dengan mikrometer sekrup, Anda tidak mungkin memperoleh nilai benar x_0. Bagaimana Anda melaporkan hasil pengukuran suatu besaran?

Hasil pengukuran suatu besaran dilaporkan sebagai: $x = x_0 \pm \Delta x$, dengan x adalah nilai pendekatan terhadap nilai benar x_0 dan Δx adalah ketidakpastiannya.

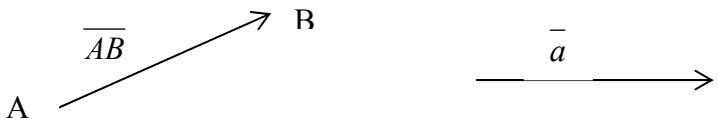
Pengukuran tunggal dalam kegiatan eksperimen sebenarnya dihindari karena menimbulkan ketidakpastian yang sangat besar. Namun, ada alasan tertentu yang mengharuskan sehingga suatu pengukuran hanya dapat dilakukan sekali saja. Misalnya, mengukur kecepatan mobil yang lewat. Bagaimana menuliskan hasil pengukuran tunggal tersebut? Setiap alat memiliki skala terkecil yang memberikan kontribusi besar pada kepresisian pengukuran. Skala terkecil adalah nilai atau hitungan antara dua garis skala bertetangga. Skala terkecil pada mistar adalah 1 mm. Umumnya, secara fisik mata manusia masih mampu membaca ukuran hingga skala terkecil tetapi mengalami kesulitan pada ukuran yang kurang dari skala terkecil. Pembacaan ukuran yang kurang dari skala terkecil merupakan taksiran, dan sangat berpeluang memunculkan ketidakpastian. Mengacu pada logika berfikir demikian, maka lahirlah pandangan bahwa penulisan hasil pengukuran hingga setengah dari skala terkecil. Tetapi ada juga kelompok lain yang berpandangan bahwa

membaca hingga skala terkecil pun sudah merupakan taksiran, karena itu penulisan hasil pengukuran paling teliti adalah sama dengan skala terkecil.

1.9 Vektor

Dalam fisika besaran dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu besaran yang hanya dinyatakan dengan nilai dan satuannya disebut *besaran skalar* dan besaran yang dinyatakan dengan nilai, satuan beserta arahnya disebut *besaran vektor*. Contoh besaran fisis yang merupakan besaran skalar adalah massa, panjang, waktu, densitas, energi, dan suhu. Perhitungan besaran-besaran skalar dapat dilakukan dengan menggunakan aturan-aturan aljabar biasa. Contoh besaran fisis yang termasuk besaran vektor adalah percepatan, kecepatan, gaya, momentum, dan pergeseran. Perhitungan besaran-besaran vektor harus menggunakan aturan yang dikenal dengan operasi vektor.

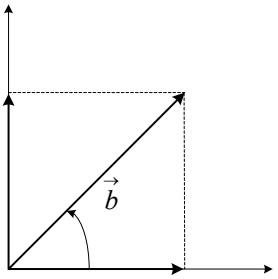
Vektor secara visualisasi digambarkan berupa garis lurus beranak panah, dengan panjang garis menyatakan besar vektor dan arah panah menyatakan arah vektor, lihat Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Gambar vektor $\overline{AB}$ dan vektor $\bar{a}$.

A. Komponen Vektor dan Vektor Satuan

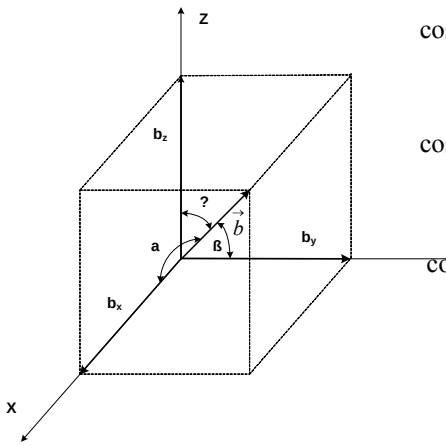
Untuk memudahkan operasi vektor dari suatu besaran fisika, setiap vektor dapat diuraikan menjadi komponen-komponen vektor ke arah sumbu-sumbu koordinat di mana vektor berada. Contoh dalam bidang dua dimensi (bidang xy) dari koordinat kartesian, vektor b dapat diuraikan menjadi komponen $\overline{b_x}$ (pada arah sumbu x) dan $\overline{b_y}$ (pada arah sumbu y) seperti Gambar 1.10.



b_x = b cos θ dan b_y = b sin θ dan besar vektor $\left|\vec{b}\right| = b = \sqrt{b_x^{\,2} + b_y^{\,2}}$ serta arah vektor $\vec{b}$ terhadap sumbu x positip dapat dihitung dengan rumus $\tan\theta = \dfrac{b_y}{b_x}$.

Gambar 1.10 Komponen vektor dalam bidang dua dimensi (bidang xy).

Apabila sebuah vektor berada dalam ruang tiga dimensi dari koordinat kartesian dengan mengapit sudut terhadap sumbu x, y dan z berturut-turut α, β dan γ maka: b_x = b cos α, b_y = b cos β, b_z = b cos γ dan besar vektor $\bar{b} = \sqrt{b_x^{\,2} + b_y^{\,2} + b_z^{\,2}}$ serta arah-arah vektor $\bar{b}$ berturut-turut terhadap sumbu x, y dan z dapat dihitung dengan:



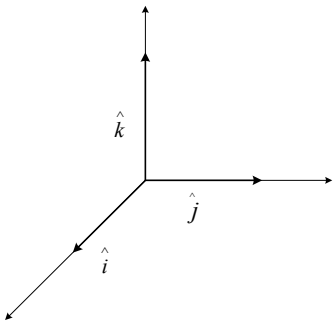
$$\cos\alpha = \frac{b_x}{\sqrt{b_x^{\,2} + b_y^{\,2} + b_z^{\,2}}};$$

$$\cos\beta = \frac{b_Y}{\sqrt{b_x^{\,2} + b_y^{\,2} + b_z^{\,2}}};$$

$$\cos\gamma = \frac{b_Z}{\sqrt{b_x^{\,2} + b_y^{\,2} + b_z^{\,2}}}$$

$\text{Cos}^2\,\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma$
$= 1$

tersebut. Contoh vektor $\bar{b} = \hat{b}$ .b, dengan $\hat{b}$ disebut vektor satuan b dan b besar dari vektor $\bar{b}$. Untuk penggunaan berikutnya vektor satuan ke arah sumbu x, y dan z dari koordinat kartesian berturut-turut disimbolkan $\hat{i}$, $\hat{j}$ dan $\hat{k}$, lihat Gambar 1.12.



Sehingga vektor $\bar{b}$ yang digambarkan pada Gambar 1.12 dapat ditulis sbb: $\bar{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k}$, dengan notasi seperti ini memudahkan untuk melakukan operasi vektor .

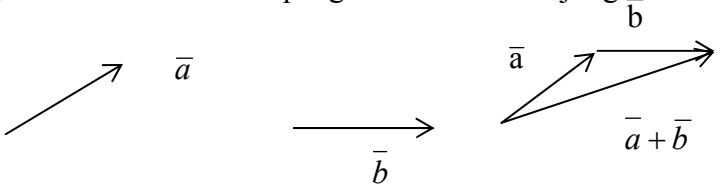
Gambar 1.12 Vektor satuan dalam koordinat kartesian

B. Operasi Vektor

B.1 Penjumlahan Vektor

Penjumlahan Vektor dengan Metode Grafis

Jika kita ingin menjumlahkan vektor, misalkan vektor $\vec{a}$ dan vektor $\vec{b}$, maka vektor $\vec{b}$ digeser sejajar dengan dirinya hingga pangkal vektor $\vec{b}$ berimpit dengan ujung vektor $\vec{a}$, vektor $\vec{a} + \vec{b}$ adalah vektor dari pangkal vektor $\vec{a}$ ke ujung vektor $\vec{b}$.



Gambar 1.13 Penjumlahan vektor $\vec{a}$ dan vektor $\vec{b}$

Penjumlahan Vektor dengan Metode Analitis

Apabila dalam vektor satuan, $\bar{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}$ dan $\bar{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k}$ maka jumlah vektor $\bar{a}$ dan $\bar{b}$ adalah:

$$\bar{a} + \bar{b} = (a_x + b_x)\ \hat{i} + (a_y + b_y)\ \hat{j} + (a_z + b_z)\ \hat{k} \quad (1.1)$$

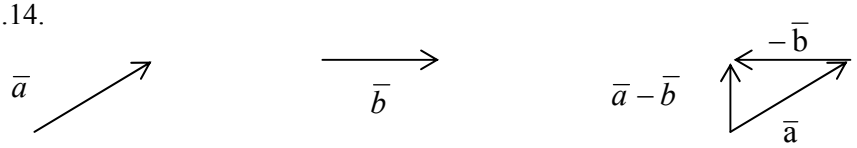
dan yang dapat dioperasikan penjumlahan adalah *komponen-komponen vektor yang sejajar.*

Penjumlahan vektor bersifat *komutatif*, $\bar{a} + \bar{b} = \bar{b} + \bar{a}$ dan *asosiatif*, $(\bar{a} + \bar{b}) + \bar{c} = \bar{a} + (\bar{b} + \bar{c})$

B.2 Pengurangan Vektor

Pengurangan Vektor dengan Metode Grafis

Dua vektor $\bar{a}$ dan $\bar{b}$ besarnya sama tetapi arahnya berlawanan maka vektor $\bar{a}$ dinamakan juga dengan vektor negatif dari vektor $\bar{b}$ atau sebaliknya. Misalnya, vektor $\bar{a}$ dikurangi vektor $\bar{b}$, lihat Gambar 1.14.



Gambar 1.14 Pengurangan vektor $\vec{a}$ dan vektor $\vec{b}$

Pengurangan Vektor dengan Metode Analitis

Apabila dalam vektor satuan, $\bar{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}$ dan $\bar{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k}$ maka pengurangan vektor $\bar{a}$ dan $\bar{b}$ adalah: $\bar{a} - \bar{b} = (a_x - b_x)\ \hat{i} + (a_y - b_y)\ \hat{j} + (a_z - b_z)\ \hat{k}$ (1.2)

dan yang dapat dioperasikan pengurangan adalah *komponen-komponen vektor yang sejajar.*

B.3 Perkalian Vektor

Perkalian Vektor dengan Skalar

Sebuah vektor dikalikan dengan skalar adalah vektor baru dengan besar *m* (skalar) kali dengan besar vektor tersebut dengan arah yang sama bila *m* positif atau berlawanan bila m bertanda negatif. Perkalian vektor dengan skalar bersifat komutatif, $m.\bar{a} = \bar{a}\,m$.

Perkalian Skalar dari dua Vektor

Operasi perkalian skalar dari dua vektor juga dapat disebut dengan *perkalian titik* dari dua vektor atau *perkalian dot* dari dua vektor, dimana hasilnya merupakan skalar.

Perkalian skalar dari vektor $\bar{a}$ dan $\bar{b}$ ditulis $\bar{a}.\bar{b}$ dengan hasilnya :

$$\bar{a}.\bar{b} = a\,b\cos\theta = (a\cos\theta)\,b \qquad (1.3)$$

dengan θ sudut yang diapit oleh vektor $\bar{a}$ dan $\bar{b}$.

Perkalian skalar dari dua vektor bersifat *komutatif*

$\bar{a}.\bar{b} = \bar{b}.\bar{a}$ atau $a\,b\cos\theta = b\,a\cos\theta$

Apabila dalam vektor satuan, $\bar{a} = a_x\hat{i} + a_y\hat{j} + a_z\hat{k}$ dan $\bar{b} = b_x\hat{i} + b_y\hat{j} + b_z\hat{k}$ maka :

$$\bar{a}.\bar{b} = a_x b_x\,\hat{i}.\hat{i} + a_x b_y\,\hat{i}.\hat{j} + a_x b_z\,\hat{i}.\hat{k} + a_y b_x\,\hat{j}.\hat{i} + a_y b_y\,\hat{j}.\hat{j} + a_y b_z\,\hat{j}.\hat{k} + a_z b_x\,\hat{k}.\hat{i} + a_z b_y\,\hat{k}.\hat{j} + a_z b_z\,\hat{k}.\hat{k} = a_x b_x .1 + a_x b_y .0 + a_x b_z .0 + a_y b_x .0 + a_y b_y .1 + a_y b_z .0 + a_z b_x .0 + a_z b_y .0 + a_z b_z .1$$

$$= a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \qquad (1.4)$$

Ingat; $\hat{i}.\hat{i} = \hat{j}.\hat{j} = \hat{k}.\hat{k} = 1.1\cos 0^o = 1$ dan

$\hat{i}.\hat{j} = \hat{j}.\hat{k} = \hat{k}.\hat{i} = 1.1\cos 90^o = 0.$

Perkalian vektor dari dua vektor

Perkalian vektor dari dua vektor, $\bar{a}$ dan $\bar{b}$ disebut juga dengan *perkalian silang* dari dua vektor atau *perkalian cross* dari dua vektor, ***menghasilkan vektor baru*** dengan besar sama

dengan a b sin θ dengan arah searah gerak sekrup putar kanan apabila diputar dari arah vektor a ke arah vektor b melewati sudut apit kecil.

$$\bar{a} \times \bar{b} = a\ b \sin \theta \qquad (1.5)$$

Apabila dalam vektor satuan, $\bar{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}$ dan $\bar{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k}$ maka:

$\bar{a} \times \bar{b} = a_x\ b_x\ \hat{i}x\hat{i} + a_x b_y\ \hat{i}x\hat{j} + a_x b_z\ \hat{i}x.\hat{k} + a_y b_x\ \hat{j}x\hat{i} + a_y b_y\ \hat{j}x\hat{j} + a_y b_z\ \hat{j}x\hat{k} + a_z b_x\ \hat{k}x\hat{i} + a_z b_y\ \hat{k}x\hat{j} + a_z b_z\ \hat{k}x\hat{k} = a_x\ b_x\ .0 + a_x b_y.\ \hat{k} + a_x b_z\ .(-\hat{j}) + a_y b_x\ .(-\hat{k}) + a_y b_y..0 + a_y b_z\ .\hat{i} + a_z b_x\ .\hat{j} + a_z b_y\ .(-\hat{i}) + a_z b_z\ .0$

$= a_x b_y.\ .\hat{k} + a_x b_z\ .(-\hat{j}) + a_y b_x\ .(-\hat{k}) + a_y b_z\ .\hat{i} + a_z b_x\ \hat{j} + a_z b_y\ .(-\hat{i})$

$= (a_y b_z - a_z b_y)\ \hat{i} + (a_z b_x - a_x b_z)\ \hat{j} + (a_x b_y - a_y b_x)\ \hat{k}$

(1.6)

Persamaan (1.6) dapat ditulis juga dalam bentuk determinan sebagai berikut:

$$\bar{a}x\bar{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

(1.6a)

Ingat; $\hat{i}x\hat{i} = \hat{j}x\hat{j} = \hat{k}x\hat{k} = 1.1 \sin 0^o = 0$ dan $\hat{i}x\hat{j} = \hat{k}$, $\hat{j}x\hat{k} = \hat{i}$, $\hat{k}x\hat{i} = \hat{j}$, $\hat{i}x\hat{k} = -\hat{j}$, $\hat{k}x\hat{j} = -\hat{i}$, dan $\hat{j}x\hat{i} = -\hat{k}$

Contoh Soal 4:

Diketahui tiga titik dalam koordinat kartesian masing-masing berkoordinat sebagai berikut, titik M (2,4,2); N (4,-2,1) dan P (1,4,-2).

a. Hitung besar dan arah vektor $\overline{MN}$.
b. Hitung besar dan arah vektor $\overline{MN} + \overline{MP}$.
c. Hitung besar dan arah vektor $\overline{MN} - \overline{MP}$.

Penyelesaian:
Ingat vektor posisi adalah vektor suatu posisi dalam koordinat dengan mengambil acuan pada pusat koordinat, sehingga vektor posisi $\overline{M}, \overline{N}, \overline{P}$ adalah:

$\overline{M}$ = 2i + 4j + 2k; $\overline{N}$ = 4i + (-2j) + k; $\overline{P}$ = 1i + 4j + (-2k)

a). $\overline{MN} = \overline{N} - \overline{M}$ = (4 – 2)i + (-2 – 4)j + (1- 2)k = 2i + (-6)j + (-1k)

Besar $\overline{MN} = \sqrt{2^2 + (-6)^2 + (-1)^2} = \sqrt{41}$

Arah vektor $\overline{MN}$ mengapit sudut α, β dan γ terhadap sumbu x, y dan z yang dapat dihitung dengan:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{2}{\sqrt{41}}; \ \beta = \cos^{-1} \frac{-6}{\sqrt{41}}; \ \gamma = \cos^{-1} \frac{-1}{\sqrt{41}}$$

b). Dengan cara yang sama didapat vektor $\overline{MP}$ = -1i + 0j + (-4k) sehingga:

$\overline{MN} + \overline{MP}$ = (2 + (-1))i + (-6 + 0)j + (-1 + (-4))k = 1i + (-6j) + (-5k)

Besar vektor $\overline{MN} + \overline{MP} = \sqrt{1^2 + (-6)^2 + (-5)^2} = \sqrt{62}$

Arah vektornya mengapit sudut α, β dan γ terhadap sumbu x, y dan z yang dapat dihitung dengan:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{62}}; \ \beta = \cos^{-1} \frac{-6}{\sqrt{62}}; \ \gamma = \cos^{-1} \frac{-5}{\sqrt{62}}$$

c). Dengan cara yang sama didapat vektor $\overline{NP}$ = -3i + 6j + (-3k) sehingga :

$\overline{MN} - \overline{NP}$ = (2 – (-3)) i + (-6 – 6)j + (-1 – (-3))k = 5i + (-12j) + 2k

Besar vektor $\overline{MN} - \overline{NP} = \sqrt{5^2 + (-12)^2 + 2^2} = \sqrt{173}$

Arah vektornya mengapit sudut α, β dan γ terhadap sumbu x, y dan z yang dapat dihitung dengan:

$$\alpha = \cos^{-1}\frac{5}{\sqrt{173}} \quad ; \beta = \cos^{-1}\frac{-12}{\sqrt{173}} ; \gamma = \cos^{-1}\frac{2}{\sqrt{173}}$$

Contoh Soal 5:

Dua bua gaya masing-masing 24 newton dan 7 newton bekerja pada sebuah benda. Berapakah besarnya jumlah gaya (gaya resultan), jika keduanya:

a) Segaris dan arahnya sama
b) Segaris dan berlawanan arah
c) Saling tegak lurus
d) Membuat sudut 53^0

Penyelesaian:

Dikeatahui: $F_1 = 24$ N
$F_2 = 7$ N

Ditanyakan:

a) F_3, jika F_1 dan F_2 searah
b) F_3, jika F_1 dan F_2 berlawanan arah
c) F_3, jika F_1 dan F_2 saling tegak lurus
d) F_3, jika F_1 dan F_2 membentuk sudut 53^0

Jawab:

a. $F_3 = F_1 + F_2 = 24 + 7 = 31$ N
b. $F_3 = F_1 - F_2 = 24 - 7 = 17$ N
c. $F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{625} = 25\,N$
d. $F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos 53^0} = \sqrt{826{,}6} = 28{,}75\,N$

Contoh Soal 6:

Sebuah partikel berada pada koordinat kartesian, dengan koordinat (1,2,4) dinyatakan dalam meter, mengalami pengaruh gaya F sebesar 100 N yang mengapit sudut 45^o, 60^o dan 60^o

terhadap sumbu x, y dan z. Jika momen gaya merupakan perkalian silang dari vektor posisi (titik) tangkap dengan vektor gaya yang bekerja, hitunglah besar momen gaya yang dialami partikel tersebut.

Penyelesaian:

Vektor posisi partikel, $\vec{r} = \hat{i} + 2\hat{j} + 4\hat{k}$ dan vektor

$$\vec{F} = (100\cos 45^0)\,\hat{i} + (100\cos 60^0)\,\hat{j} + (100\cos 60^0)\,\hat{k}$$
$$= 70{,}7\,\hat{i} + 50\,\hat{j} + 50\,\hat{k}$$

sehingga vektor momen gaya yang dialami partikel adalah:

$$\tau = \vec{r} \times \vec{F} = (\hat{i} + 2\hat{j} + 4\hat{k}) \times (70{,}7\hat{i} + 50\,\hat{j} + 50\,\hat{k})$$

$$= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1 & 2 & 4 \\ 70{,}7 & 50 & 50 \end{vmatrix} = \hat{i}\begin{vmatrix} 2 & 4 \\ 50 & 50 \end{vmatrix} - \hat{j}\begin{vmatrix} 1 & 4 \\ 70{,}7 & 50 \end{vmatrix} + \hat{k}\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 70{,}7 & 50 \end{vmatrix}$$

$$= (100 - 200)\hat{i} - (50 - 282{,}8)\hat{j} + (50 - 141{,}4)\hat{k}$$

$$= -100\,\hat{i} + 232{,}8\,\hat{j} - 91{,}4\,\hat{k}$$

Jadi besar momen gaya yang bekerja pada partikel adalah $\sqrt{(-100)^2 + (232{,}8)^2 + (-91{,}4)^2} = 269{,}35$ N.m

Kegiatan 7: **Menemukan**

Tujuan: Menemukan sifat penjumlahan dan selisih vektor

Alat dan Bahan: Kertas, pensil, dan mistar

Langkah Kerja:

1) Pada selembar kertas kosong, gambarlah dua buah vektor $\vec{a}$ dan vektor $\vec{b}$ yang mempunyai besar dan arah sembarang. (Tentukan sendiri besar dan arahnya)
2) Pada kertas tersebut:
   a) Lukis jumlah vektor $\vec{x} = \vec{a} + \vec{b}$, dengan metode grafis/polygon, tetapi vektor $\vec{a}$ dilukis lebih dahulu.
   b) Lukis jumlah vektor $\vec{y} = \vec{b} + \vec{a}$, dengan metode grafis/polygon, tetapi vektor $\vec{b}$ dilukis lebih dahulu.
3) Siapkan kertas kosong yang lain, salin kembali vektor $\vec{a}$ dan vektor $\vec{b}$ yang anda gambar pada langkah 1. Kemudian,

lukislah masing-masing vektor selisih $\vec{p} = \vec{a} - \vec{b}$ dan $\vec{q} = \vec{b} - \vec{a}$.

Pertanyaan dan Kesimpulan:

I. Bandingkan gambar vektor $\vec{x}$ dan $\vec{y}$ yang telah anda lukis pada langkah kerja 2. Apakah pada penjumlahan vektor berlaku *hukum komutatif*? Berikan komentar Anda.

II. Bandingkan gambar vektor $\vec{p}$ dan $\vec{q}$ yang telah anda lukis pada langkah kerja 2. Apakah pada penjumlahan vektor berlaku *hukum komutatif*? Berikan komentar Anda.

Kegiatan 8: **Melakukan Diskusi**

Diskusikan dengan teman sebangku Anda, manakah yang lebih efektif dalam menggambarkan vektor resultan dari dua buah vektor atau lebih: metode grafis/polygon ataukah metode jajarangenjang? Berikan alasan Anda.

1.10 Rangkuman

Dari uraian di atas dapat kita simpulkan bahwa:

1. Fisika adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari keadaan, sifat-sifat benda dan perubahannya serta mempelajari fenomena-fenomena alam dan hubungan satu fenomena dengan fenomena lainnya. Keadaan dan sifat-sifat benda yang dapat diukur disebut *besaran* fisika.
2. Besaran dapat dibedakan menjadi besaran pokok dan besaran turunan.
3. Semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran disebut **Angka Penting**, terdiri atas angka-angka pasti dan angka-angka terakhir yang ditaksir (Angka taksiran).
4. Besaran vektor adalah besaran yang mempunyai besar dan arah, yang dalam aljabar vektor kita mengenal tentang penjumlah, pengurangan (baik menggunakan metode grafis atau analitis) dan perkalian antar dua vektor.

1.11 Tugas Mandiri

1. Carilah dimensi besaran-besaran berikut ini:
   a. Kecepatan (v = jarak tiap satuan waktu)
   b. Energi Potensial (Ep = mgh)
   c. Jika diketahui bahwa :

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

F = gaya; G = konstanta gravitasi; m = massa; R = jarak.

Carilah : dimensi konstanta gravitasi.

d. Percepatan gravitasi (g = gaya berat : massa)

e. Jika diketahui bahwa :

$$P.V = n\,R\,.\,T$$

P = tekanan; V = volume; n = menyatakan jumlah mol; T = suhu dalam Kelvin (^{0}K); R = tetapan gas

Carilah : dimensi R

2. Sebutkanlah alat-alat ukur yang kamu ketahui dan carilah kegunaan serta batas ketelitiaan pengukuran (jika ada).
3. Sebutkan berapa banyak angka-angka penting pada angka-angka di bawah ini.

a. 2,7001	d. 2,9	g. 0,00005
b. 0,0231	e. 150,27	h. $2,3.10^{-7}$
c. 1,200	f. 2500,0	i. 200000,3

4. Ubahlah satuan-satuan di bawah ini, ditulis dalam bentuk baku.

a. $27,5\ m^3$ = ... cm^3

b. $0,5.10^{-4}$ kg = ... mg

c. 10 m/det = ...km/jam

d. 72 km/jam = ... m/det

e. 2,7 newton = ... dyne

f. 5,8 joule = ... erg

g. $0,2.10^{-2}\ g/cm^3$ = ... kg/m^3

h. $3.10^5\ kg/m^3$ = ... g/cm^3

i. $2,5.10^3\ N/m^2$ = ... $dyne/cm^2$

j. 7,9 dyne/cm^3 = ... N/m^3
k. 0,7 . 10^{-8} m = ... mikro
l. 1000 kilo joule = ...mikro joule = ... Giga Joule

5. Bulatkan dalam dua angka penting.
   a. 9,8546
   b. 0,000749
   c. 6,3336
   d. 78,98654
6. Hitunglah dengan penulisan angka penting.
   a. 2,731 + 8,65 = ….
   b. 567,4 - 387,67 = ….
   c. 32,6 + 43,76 - 32,456 = ...
   d. 43,54 : 2,3 = ...
   e. 2,731 x 0,52 =.....
   f. 21,2 x 2,537 =.....
   g. 57800 : 1133 = ...
   h. 4,876 + 435,5467 + 43,5 = ...
   i. 3,4 + 435,5467 + 43,5 =.....
   j. 1,32 x 1,235 + 6,77 =.....

1.12. Soal Uji Kompetensi

1. Diantara kelompok besaran berikut, yang termasuk kelompok besaran pokok dalam sistem Internasional adalah ….
   A. Panjang, luas, waktu, jumlah zat
   B. Kuat arus, intersitas cahaya, suhu, waktu
   C. Volume, suhu, massa, kuat arus
   D. Kuat arus, panjang, massa, tekanan
   E. Intensitas cahaya, kecepatan, percepatan, waktu

2. Kelompok besaran di bawah ini yang merupakan kelompok besaran turunan adalah …
   A. Panjang lebar dan luas
   B. Kecepatan, percepatan dan gaya
   C. Kuat arus, suhu dan usaha

D. Massa, waktu, dan percepatan
E. Intensitas cahaya, banyaknya mol dan volume

3. Tiga besaran di bawah ini yang merupakan besaran skalar adalah ….
   A. Jarak, waktu dan luas
   B. Perpindahan, kecepatan dan percepatan
   C. Laju, percepatan dan perpindahan
   D. Gaya, waktu dan induksi magnetik
   E. Momentum, kecepatan dan massa

4. Dari hasil pengukuran di bawah ini yang termasuk vektor adalah …
   A. Gaya, daya dan usaha
   B. Gaya, berat dan massa
   C. Perpindahan, laju dan kcepatan
   D. Kecepatan, momentum dan berat
   E. Percepatan, kecepatan dan daya

5. Dimensi $ML^{-1}T^{-2}$ menyatakan dimensi : …..
   A. Gaya
   B. Energi
   C. Daya
   D. Tekanan
   E. Momentum

6. Dimensi dari kelajuan sudut adalah : …
   A. L^{-2}
   B. M^{-2}
   C. T^{-2}
   D. T^{-1}
   E. T

7. Rumus dimensi momentum adalah ……
   A. MLT^{-3}
   B. $ML^{-1}T^{-2}$
   C. MLT^{-1}
   D. $ML^{-2}T^{2}$

E. $ML^{-1}T^{-1}$

8. Rumus dimensi daya adalah …
   A. ML^2T^{-2}
   B. ML^3T^{-2}
   C. MLT^{-2}
   D. ML^2T^{-3}
   E. MLT^{-3}

9. Hasil pengukuran panjang dan lebar suatu persegi panjang masing-masing 12,61 dan 5,2 cm. Menurut aturan penulisan angka penting, luas bangunan tersebut adalah …… cm^2
   A. 65
   B. 65,572
   C. 65,275
   D. 65,60
   E. 66

10. Hasil pengukuran panjang, lebar dan tinggi suatu balok adalah 5,70 cm, 2,45 cm dan 1,62 cm. Volume balok hasil pengukuran tersebut adalah ……. cm^3
    A. 23,0
    B. 22,60
    C. 22,62
    D. 623
    E. 6233

11. Hasil pengukuran pelat seng panjang = 1,50 cm dan lebarnya 1,20 cm. Luas pelat seng menurut aturan penulisan angka penting adalah ……. cm^2
    A. 1,8012
    B. 1,801
    C. 1,800
    D. 1,80
    E. 1,8

12. Daya listrik dapat diberi satuan ….
    A. WH
    B. KWH

C. MWH
D. Volt dan amper
E. Volt^2 dan ohm

13. Dari hasil pengukuran panjang batang baja dan besi masing-masing 1,257 m dan 4,12 m, Jika kedua batang disambung, maka berdasarkan aturan penulisan angka penting, panjangnya adalah ….. m
    A. 5,380
    B. 5,38
    C. 5,377
    D. 5,370
    E. 5,37

14. Hasil pengukuran panjang dan lebar suatu ruangan adalah 3,8 m dan 3,2 m. Luas ruangan itu menurut aturan penulisan angka penting adalah ….. m^2
    A. 12
    B. 12,1
    C. 12,16
    D. 12,20
    E. 12,2

15. Dari hasil pengukuran di bawah ini yang memiliki tiga angka penting adalah ….
    A. 1,0200
    B. 0,1204
    C. 0,0204
    D. 0,0024
    E. 0,0004

16. Dari hasil pengukuran pelat seng, didapatkan panjang 13,24 mm dan lebar 5,27 mm. Luas pelat tersebut jika ditulis dengan angka penting adalah …. mm^2
    A. 69,7748
    B. 69,78
    C. 69,7
    D. 69,9
    E. 69,8

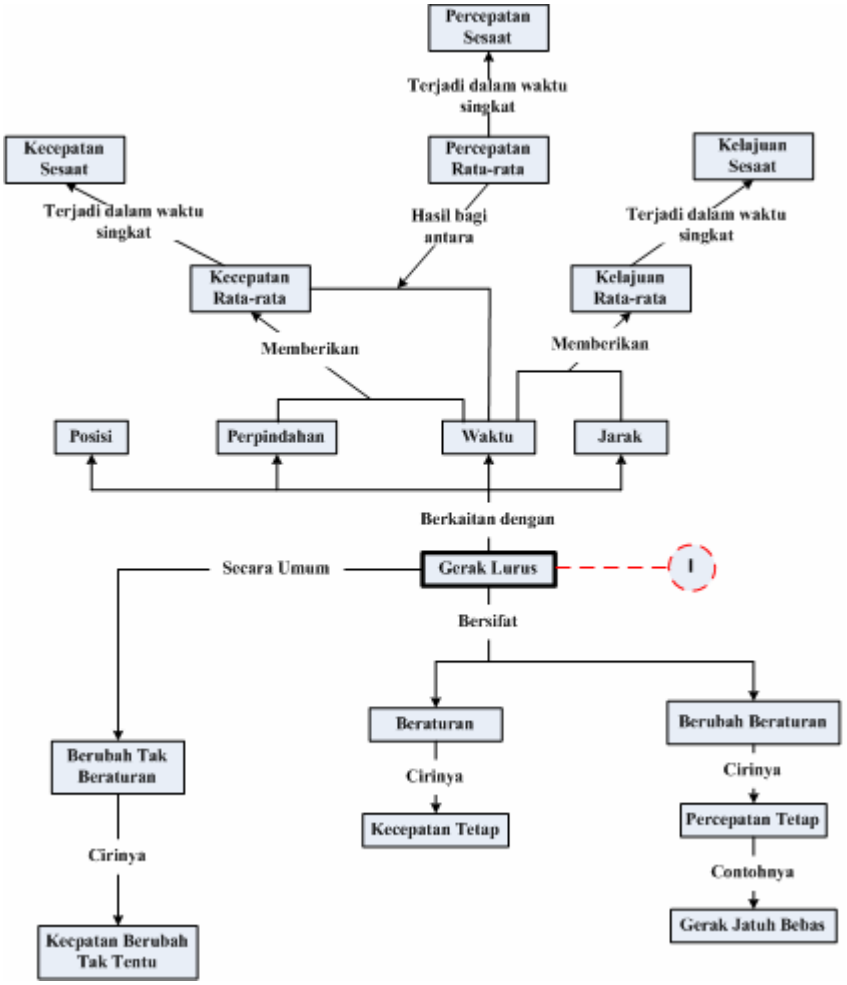
BAB 2
MENERAPKAN HUKUM GERAK DAN GAYA

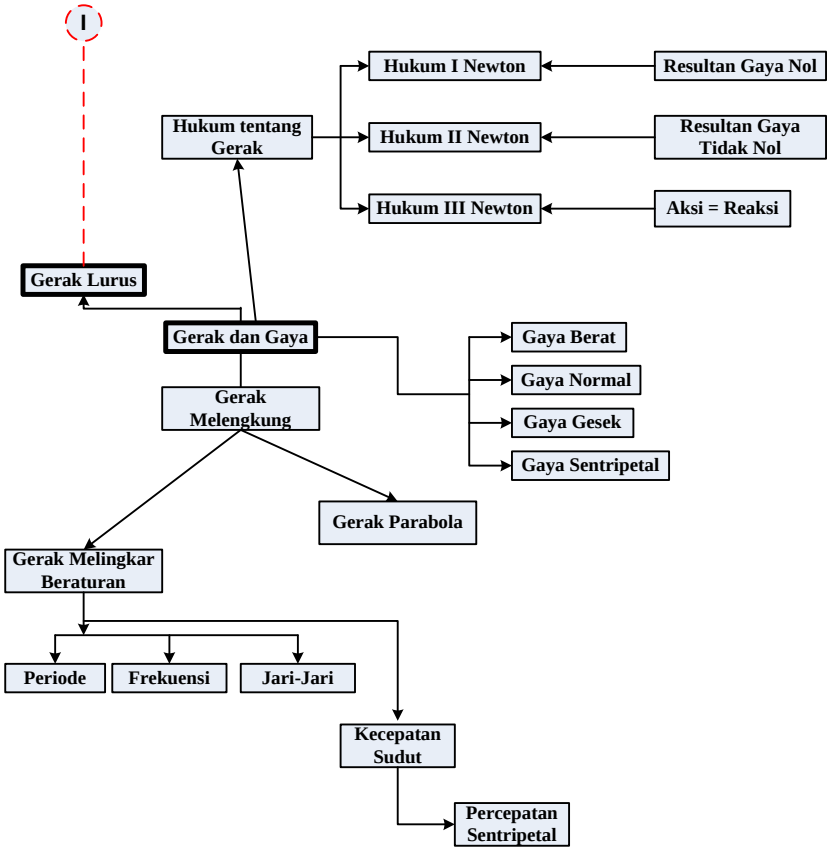


Sumber: Serway dan Jewett, Physics for Scientists and Engineers, 6th edition, 2004

Pernahkah Anda membayangkan bagaimana kalau dalam kehidupan ini tidak ada yang bergerak?. Dalam kehidupan sehari-hari sering kita mendengar kata "gerak" seperti mobil bergerak, gerakan penari, gerakan pelari, gerakan pemain ski es dan lain-lain. Suatu benda dikatakan bergerak bila kedudukannya berubah terhadap acuan tertentu. Misalnya anda duduk di tempat tunggu terminal dan melihat bus bergerak meninggalkan terminal. Terminal anda tentukan sebagai acuan, maka bus dikatakan bergerak terhadap terminal. Penumpang bus tidak bergerak terhadap bus, karena kedudukan penumpang tersebut setiap saat tidak berubah terhadap bus. Setelah bus berjalan di jalan raya maka suatu saat bus akan berbelok ke kanan, berjalan lurus lagi, belok ke kiri, kemudian lurus lagi dan seterusnya. Jalan yang dilalui bus yang bergerak disebut "lintasan". Lintasan dapat berbentuk lurus, melengkung, atau tak beraturan.

PETA KONSEP


Percepatan Sesaat
Terjadi dalam waktu singkat
Kecepatan Sesaat
Percepatan Rata-rata
Kelajuan Sesaat
Terjadi dalam waktu singkat
Hasil bagi antara
Terjadi dalam waktu singkat
Kecepatan Rata-rata
Kelajuan Rata-rata
Memberikan
Memberikan
Posisi
Perpindahan
Waktu
Jarak
Berkaitan dengan
Secara Umum
Gerak Lurus
I
Bersifat
Berubah Tak Beraturan
Beraturan
Berubah Beraturan
Cirinya
Cirinya
Cirinya
Kecepatan Tetap
Percepatan Tetap
Contohnya
Kecpatan Berubah Tak Tentu
Gerak Jatuh Bebas

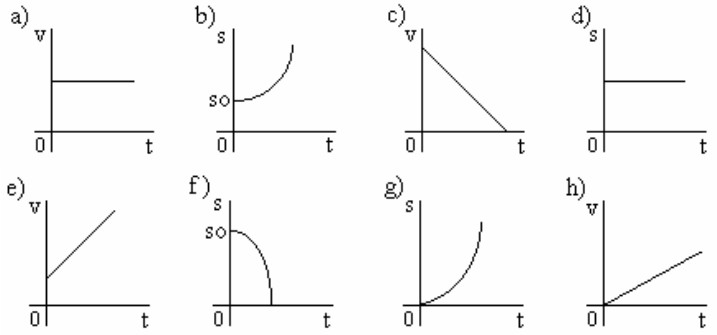

I
Gerak Lurus
Hukum tentang Gerak
Hukum I Newton
Hukum II Newton
Hukum III Newton
Resultan Gaya Nol
Resultan Gaya Tidak Nol
Aksi = Reaksi
Gerak dan Gaya
Gaya Berat
Gaya Normal
Gaya Gesek
Gaya Sentripetal
Gerak Melengkung
Gerak Parabola
Gerak Melingkar Beraturan
Periode
Frekuensi
Jari-Jari
Kecepatan Sudut
Percepatan Sentripetal

Pra Syarat

1. Mengetahui perbedaan antara besaran vektor dan besaran skalar, penjumlahan vektor, dan selisih vektor.
2. Menguasai lebih dahulu berbagai konsep terkait dengan gerak lurus, baik gerak lurus beraturan maupun gerak lurus berubah beraturan. Khususnya konsep tentang kecepatan, percepatan dan gaya yang berlaku pada gerak lurus berubah beraturan. Pada akhirnya anda harus dapat menerapkan konsep-konsep yang terkait dengan gerak melingkar baik dalam perhitungan maupun contoh-contoh dalam kehidupan sehari-hari.
3. Mempelajari konsep massa, berat (gaya gravitasi), gaya dan resultannya.

Cek Kemampuan

1. Terangkanlah arti grafik-grafik di bawah ini. dan tulis persamaan geraknya.



2. Dalam waktu $4\frac{1}{2}$ jam, sebuah kendaraan dapat menempuh jarak sejauh 270 km.
   a. Berapa kecepatan rata-rata kendaraan tersebut?
   b. Dengan kecepatan rata-rata tersebut, berapa jarak yang ditempuh selama 7 jam ?
   c. Dengan kecepatan rata-rata tersebut, berapa waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak sejauh 300 km?
3. Pada sebuah benda yang mula-mula berada dalam keadaan tidak bergerak bekerja gaya K selama 4,5 detik. Setelah itu K dihilangkan dan gaya yang berlawanan arahnya dengan semula dan besarnya 2,25 N mulai bekerja pada benda tersebut, sehingga setelah 6 detik lagi kecepatannya = 0. Hitunglah gaya K.
4. Benda massanya 10 kg tergantung pada ujung kawat. Hitunglah besarnya tegangan kawat, jika:
   a. Benda bergerak ke atas dengan percepatan 5 m/det^2?

b. Benda bergerak ke bawah dengan percepatan 5 m/s^2?

5. Sepeda mempunyai roda belakang dengan jari-jari 35 cm, gigi roda belakang dan roda putaran kaki, jari-jarinya masing-masing 4 cm dan 10 cm. Gigi roda belakang dan roda putaran kaki tersebut dihubungkan oleh rantai. Jika kecepatan sepeda 18 km/jam, hitunglah :
   a. Kecepatan sudut roda belakang.
   b. Kecepatan linier gigi roda belakang.
   c. Kecepatan sudut roda putaran kaki.

2.1 Gerak dan Gaya

Suatu benda dikatakan bergerak jika benda tersebut berubah kedudukannya setiap saat terhadap titik acuannya (titik asalnya). Sebuah benda dikatakan bergerak lurus atau melengkung, jika lintasan berubahnya kedudukan dari titik asalnya berbentuk garis lurus atau melengkung. Sebagai contoh: gerak jatuh bebas, gerak mobil di jalan yang lurus, gerak peluru yang ditembakkan dengan sudut tembak tertentu (gerak parabola) dan sebagainya.

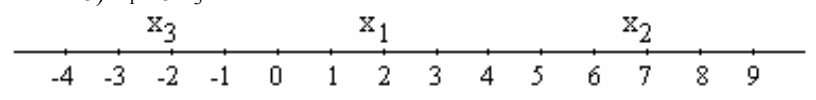
Sebelum lebih lanjut kita menerapkan hukum gerak dan gaya, alangkah baiknya kita perlu pahami dulu tentang definisi Kinematika dan Dinamika. Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerak tanpa mengindahkan penyebabnya, sedangkan Dinamika adalah ilmu yang mempelajari gerak dan gaya-gaya penyebabnya.

Jarak dan Perpindahan

Mobil bergerak dari P ke Q menempuh jarak 100 km, berarti mobil tersebut telah menempuh panjang lintasannya (gerakannya) dihitung dari P (posisi awal) ke Q (posisi akhir) adalah sejauh 100 km. Dapat disimpulkan, **jarak** adalah merupakan panjang lintasan yang ditempuh oleh materi/benda sepanjang gerakannya. Dari kasus di atas, mobil mengalami perubahan posisi dari P (awal/acuan) ke Q (akhir/tujuannya), sehingga dapat disimpulkan bahwa mobil telah melakukan perpindahan yaitu perubahan posisi suatu benda dari posisi awal (acuan) ke posisi akhirnya (tujuannya). Perpindahan dapat bernilai positif ataupun negatif bergantung pada arah geraknya. Perpindahan positif, jika arah geraknya ke kanan, negatif jika arah geraknya ke kiri.

Contoh Soal 1:
Dari gambar di bawah ini, tentukan besarnya perpindahan yang dialami oleh benda, jika benda melakukan gerakan dari posisi:

a) x_1 ke x_2
b) x_1 ke x_3



Penyelesaian:
a. Perpindahan dari x_1 ke $x_2 = x_2 - x_1 = 7 - 2 = 5$ (positif)
b. Perpindahan dari x_1 ke $x_3 = x_3 - x_1 = -2 - (+2) = -4$ (negatif)

2.2 Gerak Lurus Beraturan (GLB)

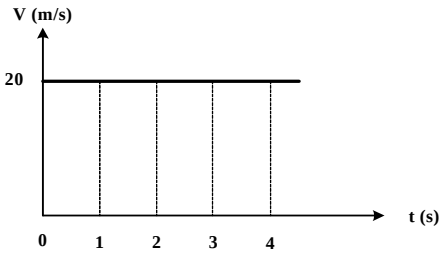
Gerak lurus beraturan adalah gerak dengan lintasan lurus serta kecepatannya selalu tetap. **Kecepatan (*v*)** adalah besaran vektor yang besarnya sesuai dengan perubahan lintasan tiap satuan waktu. **Kelajuan** adalah besaran skalar yang besarnya sesuai dengan perubahan lintasan tiap satuan waktu. Dalam hal gerak lurus kelajuan sama dengan kecepatan, karena partikel bergerak satu arah saja.

Pada Gerak Lurus Beraturan (GLB) berlaku rumus : $x = v.t$

dengan: x= jarak yang ditempuh (perubahan lintasan), (m)
v= kecepatan, (m/s)
t= waktu, (s)

Amati Gambar 2.1, dari rumus x = v.t, maka :

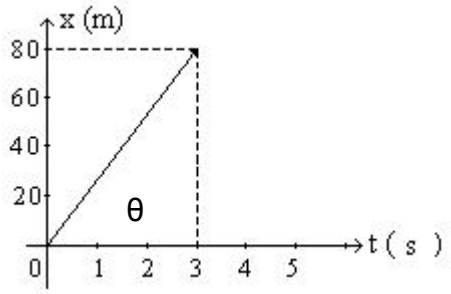
$t = 1$ det, $x = 20$ m
$t = 2$ det, $x = 40$ m
$t = 3$ det, $x = 60$ m
$t = 4$ det, $x = 80$ m



Gambar 2.1 Grafik *v* terhadap *t* pada gerak lurus beraturan

Pada Gambar 2.1, maka dapat diambil kesimpulan bahwa benda yang mempuyai kecepatan bergerak sebesar 20 m/s selama 4 s telah menempuh jarak sejauh 80 m (merupakan luas bidang persegi panjang dengan panjang 4 s dan lebar 20 m/s = 4s x 20 m/s = 80 m).

Dengan memperhatikan Gambar 2.2, maka kecepatan merupakan harga tangen sudut yang dibentuk oleh panjang garis dihadapan sudut (panjang sumbu x) dan panjang garis yang berhimpit dengan sudut (panjang sumbu t), lihat Gambar 2.2 (v = tan θ = 80 m/3 s = 26,67 m/s).



Gambar 2.2 Grafik *x* terhadap *t* pada gerak lurus beraturan

A. Kecepatan Rata-rata ($\bar{v}$)

Faustina mengendarai sepeda motor dari posisi P ke posisi B yang berjarak 200 km dalam waktu 3 jam, sehingga dapat dikatakan sepeda motor bergerak dengan kecepatan = 200 km/3 jam = 66,67 km/jam. Kecepatan tersebut merupakan kecepatan rata-rata, sebab dalam perjalanannya sepeda motor tersebut tidak bergerak secara konstan, bisa sangat cepat, bisa pula sangat lambat bergantung jalan yang dilaluinya (sebagai contoh: jalan berkelok-kelok, naik-turun, dan kemacetan lalu-lintas). Jika kecepatan rata-rata ($\bar{v}$), perpindahan *(x)* dalam interval waktu *(t),* maka hubungan ketiga variabel tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad (2.2)$$

Umumnya ditulis:

$$\bar{v} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + v_3 t_3 + \ldots}{t_1 + t_3 + t_3 + \ldots} \qquad (2.3)$$

Contoh Soal 3:
Bayu mengendarai mobil Ferrari selama 30 menit pertama menempuh jarak 40 km, kemudian selama 10 menit kedua menempuh jarak 15 km, dan pada menit ketiga selama 8 menit menempuh jarak 9 km. Tentukan kecepatan rata-rata mobil tersebut.

Penyelesaian:
Diketahui:

t_1 = 30 menit	x_1 = 40 km
t_2 = 10 menit	x_2 = 15 km
t_1 = 8 menit	x_1 = 9 km

Ditanyakan: $\bar{v}$?
Jawab:

$$\bar{v} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{t_1 + t_3 + t_3} = \frac{40 + 15 + 9\,(km)}{30 + 10 + 8\,(menit)} = \frac{64\,km}{48\,menit\,(0{,}8\,jam)} = 80\,km/jam$$

B. Kecepatan Sesaat
Kecepatan sesaat, $\bar{v}$ adalah kecepatan suatu benda yang bergerak pada suatu saat tertentu, dengan interval waktu Δt diambil sangat singkat, secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$\bar{v} = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \qquad (2.4)$$

2.3 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Bila sebuah benda mengalami perubahan kecepatan yang tetap untuk selang waktu yang sama, maka dikatakan bahwa benda tersebut mengalami gerak lurus berubah beraturan.

A. Gerak lurus dipercepat beraturan dan diperlambat beraturan

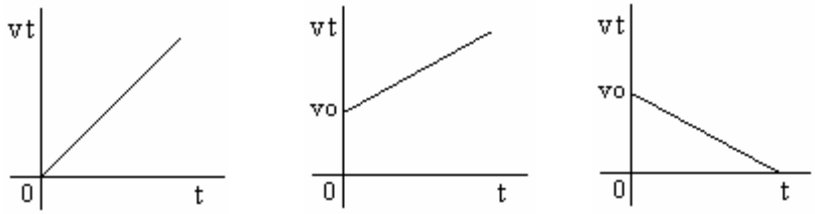
Jika suatu benda bergerak lurus dan kecepatannya setiap saat selalu bertambah dengan beraturan, maka dikatakan benda itu bergerak lurus dipercepat beraturan. Percepatan (*a=acceleration*) adalah perubahan kecepatan tiap-tiap sekon, secara matematis dapat dinyatakan sebagai: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t_t - t_0}$, dengan menganggap t_0 awal = 0 dan $t_t = t$, maka didapatkan:

$$v_t = v_0 + at \qquad (2.5)$$

dengan:

v_t = kecepatan akhir (m/s)
v_0 = kecepatan awal (m/s)
a = percepatan (m/s^2)
t = waktu (s)

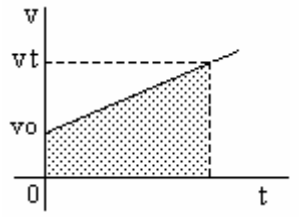
Oleh karena perubahan kecepatan ada 2 macam (Gambar 2.3) , maka GLBB juga dibedakan menjadi dua macam yaitu: GLBB dengan $a > 0$ (dipercepat) dan GLBB $a < 0$ (diperlambat), bila percepatan searah dengan kecepatan benda maka benda mengalami percepatan, jika percepatan berlawanan arah dengan kecepatan maka benda mengalami perlambatan.



(a)	(b)	(c)
$a > 0$	$a > 0$	$a < 0$
$v_0 = 0$	$v_0 \neq 0$	$v_0 \neq 0$
$v_t = v_0 + at$	$v_t = v_0 + at$	$v_t = v_0 - at$
$v_t = at$		

Gambar 2.3 Grafik gerak lurus berubah beraturan

Untuk mencari jarak yang ditempuh benda ketika bergerak lurus berubah beraturan, langkah yang perlu dikerjakan adalah dengan mencari luasan daerah yang terarsir, seperti Gambar 2.4. Jarak yang ditempuh = luas grafik v terhadap t.



x = *Luas trapesium*

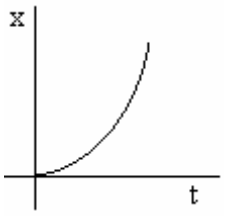
$= (v_0 + v_t).\frac{1}{2}t$

$= (v_0 + v_0 + at).\frac{1}{2}t$

$= (2v_0 + at).\frac{1}{2}t$

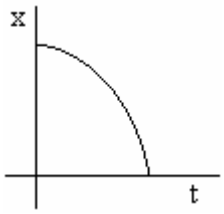
$X = v_0t + \frac{1}{2}at^2$

Gambar 2.4 Mencari jarak tempuh oleh benda yang melakukan gerak lurus berubah beraturan



$a > 0;\ x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$

(a)



$a < 0;\ x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$

(b)

Gambar 2.5 Grafik x terhadap t dalam GLBB (grafiknya berupa parabola)

Pada Gambar 2.5 terlihat bahwa grafik hubungan antara x dan t pada gerak lurus berubah beraturan adalah berbentuk parabola. Apabila *a* bernilai positif, maka akan tampak kurva yang berbentuk parabola dengan titik potong di (0,0) seperti Gambar 2.5a, sedangkan untuk *a* bernilai negatif, maka akan tampak kurva parabola dengan titik potong di (0, x) seperti Gambar 2.5b.

Contoh Soal 4:

Mobil mengalami gerak lurus berubah beraturan dengan kecepatan awal sebesar 7 m/s, setelah 10 sekon kecepatannya menjadi 25 m/s. Tentukan percepatan yang dialami oleh mobil tersebut?

Penyelesaian:
Diketahui: v_0 = 7 m/s , v_t = 25 m/s, t = 10 s
Ditanyakan: a = ?
Jawab:

$$v_t = v_0 + at \rightarrow a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{(25-7)m/s}{10(s)} = 1{,}8\, m/s^2$$

Contoh Soal 5:
Bus mula-mula diam kemudian bergerak dengan percepatan tetap 2 m/s^2 selama 8 sekon, setelah itu bergerak dengan kecepatan konstan selama 10 sekon. Karena di depan tiba-tiba ada orang menyeberang maka bus mengerem dengan perlambatan 2 m/s^2 selama 3 sekon sampai berhenti. Tentukan jarak yang ditempuh oleh bus tersebut selama 3 sekon pengeremannya.

Penyelesaian:
Diketahui:
V_{01} = 0 m/s, a_1 = 2 m/s^2 (dipercepat), a_3 = - 2 m/s^2 (diperlambat)
t_1 =8 sekon, t_2 = 10 sekon, t_3 = 3 sekon

Ditanyakan: jarak yang ditempuh selama pengereman (3 sekon) ?
Jawab:
Gerakan I: $V_{t1} = V_{01} + a_1 t_1 \rightarrow V_{t1} = 0 + 2.8 = 16\ m/s$ (dipercepat)

Gerakan II: $X_1 = V_{t1}.t_2 = 16\ m/s$. 10 sekon = 160 m (kecepatan konstan)

Gerakan III: $V_{t1} = V_{02} = 16\ m/s \rightarrow V_{t2} = 0$ (berhenti) → (diperlambat)
Sehingga didapat →

$$2a_3 X_3 = v_{t3}^2 - v_{03}^2 \rightarrow X_3 = \frac{-(16)^2}{2(-2)} = \frac{256}{4} = 64\ m$$

B. Gerak Vertikal Pengaruh Gravitasi Bumi
B.1 Gerak jatuh bebas

Gerak jatuh bebas ini merupakan gerak lurus berubah beraturan tanpa kecepatan awal (v_0), dimana percepatannya disebabkan karena gaya tarik bumi dan disebut percepatan gravitasi bumi (g).

Sebuah benda dikatakan mengalami jatuh bebas, jika memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

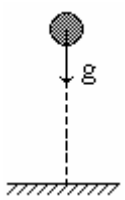
a) Kecepatan awal nol ($v_0 = 0$) → benda dilepaskan
b) Gesekan udara diabaikan
c) Benda dijatuhkan dari tempat yang tidak terlalu tinggi (percepatan gravitasi dianggap tetap)

Contoh Soal 6:

Bola dilepaskan dari ketinggian h_0 meter di atas permukaan bumi. Jika percepatan gravitasi adalah g m/s^2, tentukanlah:

a) Ketinggian benda setelah t sekon
b) Waktu yang diperlukan untuk sampai di permukaan bumi
c) Kecepatan pada saat mencapai tanah
d) Kecepatan pada ketinggian h

Penyelesaian:



a). Gerak jatuh bebas adalah gerak GLBB tanpa kecepatan awal ($v_0 = 0$), maka berlaku:

$v_t = v_0 + gt \rightarrow v_t = gt$

$h = h_0 + v_0t - ½\ gt^2 = h_0 - ½\ gt^2$

dengan:

h = ketinggian setelah t sekon (m) (di permukaan bumi)
h_0 = ketinggian mula-mula (m) (di atas permukaan bumi)
g = percepatan gravitasi (m/s^2)
t = waktu (s)

b). Syarat mencapai tanah: h = 0

$h = h_0 - ½\ gt^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$

c). Kecepatan pada saat menyentuh tanah (h = 0):

$v_t^2 = v_0^2 + 2g(h - h_0) = 0 + 2gh_0 \rightarrow v_t = \sqrt{2gh_0}$

d). Kecepatan pada saat ketinggian h:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2g(h - h_0) \rightarrow v_t = \sqrt{2g(h - h_0)}$$

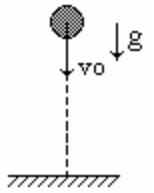
B.2 Gerak benda dilempar ke bawah

Merupakan GLBB dipercepat dengan kecepatan awal v_0.

Rumus GLBB:

$v_t = v_0 + gt$

$h = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$



dengan:

h = ketinggian setelah t sekon (m) (di permukaan bumi)

h_0 = ketinggian mula-mula (m) (di atas permukaan bumi)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

t = waktu (s)

Contoh Soal 7:

Sebuah lift naik ke atas dengan kecepatan 3 m/s. Pada suatu saat sebuah palu terlepas dan jatuh di lantai bawah gedung dengan waktu jatuh 2 sekon. Pada ketinggian berapa sekrup terlepas. (g = 10 m/s^2)?

Penyelesaian:

Diketahui: V_0 = 3 m/s; g = 10 m/s^2; t = 2 s

Ditanyakan: h = ?

Jawab:

$h = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$ (dengan h_0 = 0, di permukaan bumi)

$h = 0 + 3.2 + \frac{1}{2}\, 10.\, (2)^2 = 14$ m

Jadi ketinggian sekrup terlepas adalah h = 14 m.

B.3 Gerak Benda dilempar ke Atas

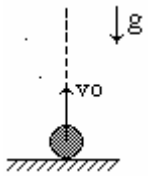
Merupakan GLBB diperlambat dengan kecepatan awal v_0.

Rumus GLBB:

$v_t = v_0 - gt$

$h = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2g(h - h_0)$$



dengan:

$h - h_0$ = ketinggian setelah t detik. ($h_0 = 0$)
h_0 = ketinggian mula-mula (di permukaan bumi = 0)
h = ketinggian akhir (di atas permukaan bumi)

Karena gerak ini diperlambat maka pada suatu saat benda akan berhenti ($v_t = 0$). Ketika itu benda mencapai ketinggian maksimum.

Contoh Soal 8:
Sebuah benda dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Jika percepatan gravitasi di tempat itu 10 m/s^2, tentukan ketinggian benda pada saat kecepatannya 20 m/s.

Penyelesaian:
Diketahui: $v_0 = 40$ m/s
$v_t = 20$ m/s ; $g = 10$ m/s^2

Ditanyakan: h = ?
Jawab:
Misalkan benda mula-mula berada di atas tanah, maka $h_0 = 0$, maka:

$$v_t^2 = v_0^2 - 2g(h - h_0) \rightarrow (20)^2 = (40)^2 - 2.10h \rightarrow h = \frac{1200}{20} = 60\ m$$

Jadi, saat kecepatan benda 20 m/s, ketinggian benda adalah 60 m.

2.4 Hukum - Hukum Newton Tentang Gerak

Pada sub-bab sebelumnya, gerak benda ditinjau tanpa memperhatikan penyebabnya. Bila penyebab gerak diperhatikan, tinjauan gerak, disebut dinamika, melibatkan besaran-besaran fisika yang disebut **gaya**. Gaya adalah suatu tarikan atau dorongan yang dapat menimbulkan perubahan gerak. Dengan demikian jika benda ditarik/didorong maka pada benda bekerja gaya dan keadaan gerak benda dapat berubah. Gaya adalah penyebab gerak. Gaya termasuk besaran vektor, karena gaya mempunyai besar dan arahnya.

A. Hukum I Newton

Dalam peristiwa sehari-hari kita sering menjumpai keadaan yang menunjukkan pemakaian dari Hukum I Newton. Sebagai contoh ketika kita naik kendaraan yang sedang melaju kencang, secara tiba-

tiba kendaraan tersebut mengerem, maka tubuh kita akan terdorong ke depan. Kasus lain adalah ketika kita naik kereta api dalam keadaan diam, tiba-tiba melaju kencang maka tubuh kita akan terdorong ke belakang. Keadaan tersebut disebut juga **Hukum Kelembaman**.

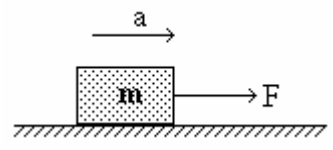
Jika resultan (jumlah) dari gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol $(\Sigma F = 0)$, maka benda tersebut:

a) jika dalam keadaan diam akan tetap diam, atau
b) jika dalam keadaan bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan.

Kesimpulan: sebuah benda akan tetap diam atau bergerak lurus beraturan, jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda itu $(\Sigma F = 0)$.

B. Hukum II Newton

Besarnya percepatan *a* berbanding lurus dengan besarnya gaya *F* dan berbanding terbalik dengan konstanta *k* yang merupakan ukuran kuantitas benda yang besarnya selalu tetap, selanjutnya disebut massa benda. Hukum ini dikenal sebagai hukum II Newton, dan secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:



$$a = \frac{F}{m} \quad \text{atau} \quad F = m\,.a \quad (2.6)$$

dengan:
F = gaya (newton)
m = massa
a = percepatan

Berat suatu benda (*w*) adalah besarnya gaya tarik bumi terhadap benda tersebut dan arahnya menuju pusat bumi (vertikal ke bawah).

Hubungan massa dan berat :

$$w = m\,.\,g \quad (2.7)$$

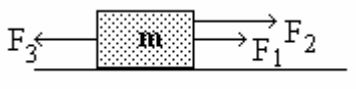
dengan:
w = gaya berat. (N).
m = massa benda (kg).
g = percepatan gravitasi (m/s^2).

Perbedaan massa dan berat:

a) Massa (*m*) merupakan besaran skalar besarnya di sembarang tempat untuk suatu benda yang sama selalu **tetap**.
b) Berat (*w*) merupakan besaran vektor di mana besarnya tergantung pada tempatnya (percepatan gravitasi pada tempat benda berada).

Aplikasi-aplikasi Hukum II Newton:

i. Jika pada benda bekerja 3 gaya horisontal seperti gambar di bawah, maka berlaku : $\sum_{i=1}^{3} \overline{F_i} = m\overline{a}$

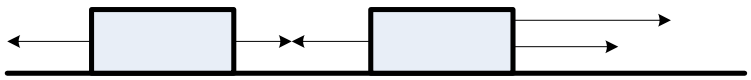


$$F_1 + F_2 - F_3 = ma$$

Kesimpulan:
Arah gerak benda = F_1 dan F_2 jika $F_1 + F_2 > F_3$
Arah gerak benda = F_3 jika $F_1 + F_2 < F_3$ (tanda a = -)

ii. Jika pada beberapa benda bekerja banyak gaya yang horisontal maka berlaku:

$\Sigma\overline{F} = m\overline{a}$ Arah gerak



Gaya yang bekerja pada m_2 searah dengan gerakannya.

$$F_2 + F_1 - T = m_2 a \qquad (2.8)$$

Gaya yang bekerja pada m_1 searah dengan gerakannya.

$$T - F_3 = m_1 a \qquad (2.9)$$

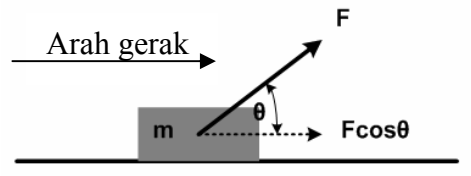
Dari persamaan (2.8) dan (2.9), didapat hubungan sebagai berikut:

$$F_1 + F_2 - F_3 = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{F_1 + F_2 - F_3}{m_1 + m_2}$$

$$T = m_1 a + F_3 \quad (T\text{= Tegangan Tali}) \qquad (2.10)$$

iii. Jika pada benda bekerja gaya yang membentuk sudut θ dengan arah mendatar maka berlaku : $F \cos \theta = m \, . \, a$



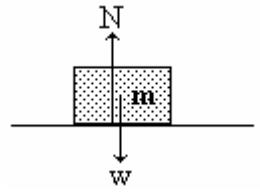
C. Hukum III Newton (Hukum Aksi-Reaksi)

Bila sebuah benda A melakukan gaya pada benda B, maka benda B juga akan melakukan gaya pada benda A yang besarnya sama tetapi berlawanan arah. Kedua gaya yang bekerja bersamaan pada kedua benda disebut gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi-reaksi bukan gaya sebab akibat, keduanya muncul bersamaan dan tidak dapat dikatakan yang satu adalah aksi dan yang lainnya reaksi. Secara matematis dapat ditulis:

$$F_{aksi} = - F_{reaksi} \qquad (2.11)$$

Pemahaman Konsep Aksi-Reaksi:

1. Pada sebuah benda yang diam di atas lantai berlaku :

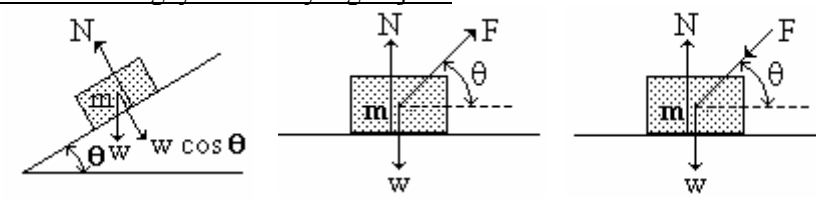


$w = - N$

Gaya yang bekerja pada benda adalah:
w = gaya berat
N = gaya normal (gaya yang tegak lurus permukaan tempat di mana benda berada).
Kedua gaya **bukan pasangan Aksi - Reaksi** bila ditinjau dari gaya-gaya yang hanya bekerja pada benda.
(tanda - hanya menjelaskan arah berlawanan). Aksi-reaksi pada sistem ini dijelaskan sebagai berikut. Benda menekan lantai dengan gaya sebesar

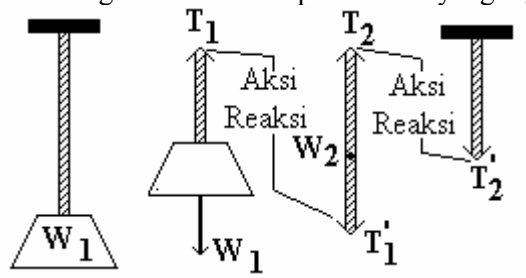
w, sedangkan lantai memberikan gaya sebesar *N* pada benda. Aksi-reaksi adalah pasangan gaya yang bekerja pada dua buah benda yang melakukan kontak.

Contoh besar gaya normal yang terjadi:



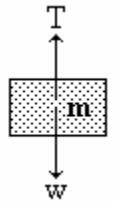
$N = w \cos \theta$ $N = w - F \sin \theta$ $N = w + F \sin \theta$

2. Pasangan aksi - reaksi pada benda yang digantung



Balok digantung dalam keadaan diam pada tali vertikal. Gaya w_1 dan T_1 **Bukanlah Pasangan Aksi - Reaksi**, meskipun besarnya sama, berlawanan arah dan segaris kerja. Sedangkan yang merupakan **Pasangan Aksi - Reaksi** adalah gaya: T_1 dan T_1'. Demikian juga gaya T_2 dan T'_2 merupakan **Pasangan Aksi - Reaksi**.

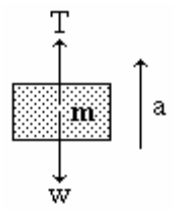
Hubungan Tegangan Tali Terhadap Percepatan:



a. Bila benda dalam keadaan diam, atau dalam keadaan bergerak lurus beraturan:

$$T = m.g \qquad (2.12)$$

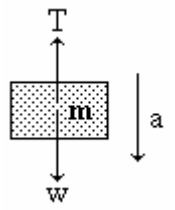
T = gaya tegangan tali.



b. Bila benda bergerak ke atas dengan percepatan a:

$$T=m.g+m.a \qquad (2.13)$$

T = gaya tegangan tali.

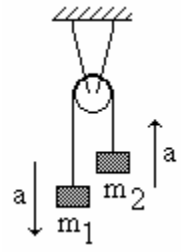


c. Bila benda bergerak ke bawah dengan percepatan a:

$$T=m.g-m.a \qquad (2.14)$$

T = gaya tegangan tali.

2.5 Gerak Benda yang Dihubungkan dengan Katrol



Dua buah benda m_1 dan m_2 dihubungkan dengan katrol melalui sebuah tali yang diikatkan pada ujung-ujungnya. Apabila massa tali diabaikan, $m_1 > m_2$ dan tali dengan katrol tidak ada gaya gesekan, maka akan berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut:

Sistem akan bergerak ke arah m_1 dengan percepatan a.

Tinjauan benda m_1

$$T=m_1.g-m_1.a \qquad (2.15)$$

Tinjauan benda m_2

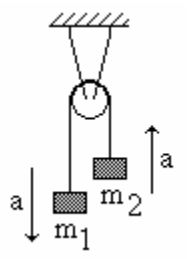
$$T=m_2.g+m_2.a \qquad (2.16)$$

Karena gaya tegangan tali di mana-mana sama, maka Persamaan (2.15) dan Persamaan (2.16) dapat digabungkan menjadi:

$$m_1.g - m_1.a = m_2.g + m_2.a$$
$$m_1.a + m_2.a = m_1.g - m_2.g$$
$$(m_1 + m_2).a = (m_1 - m_2).g$$
$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g \qquad (2.17)$$

Persamaan ini digunakan untuk mencari percepatan benda yang dihubungkan dengan katrol.

Cara lain untuk mendapatkan percepatan benda pada sistem katrol dapat ditinjau keseluruhan sistem:



Sistem akan bergerak ke arah m_1 dengan percepatan a. Oleh karena itu semua gaya yang terjadi yang searah dengan arah gerak sistem diberi tanda **Positif (+)**, yang berlawanan diberi tanda **Negatif** (-).

$$\Sigma \bar{F} = m\bar{a}$$

$w_1 - T + T - T + T - w_2 = (m_1 + m_2).a$

Karena T di mana-mana besarnya sama maka T dapat dihilangkan.

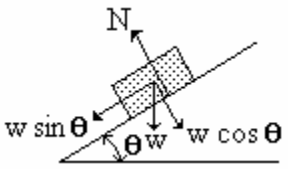
$w_1 - w_2 = (m_1 + m_2).a$

$(m_1 - m_2) \, . \, g = (m_1 + m_2).a$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g$$

2.6 Benda Bergerak Pada Bidang Miring

Gaya - gaya yang bekerja pada benda.



$$\Sigma \bar{F} = m\bar{a}$$

$$N = w\cos\theta$$

$$w\sin\theta = ma \rightarrow a = g\sin\theta \qquad (2.18)$$

2.7 Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang timbul pada dua bidang permukaan benda yang bersinggungan dan mempunyai kekasaran dan keduanya cenderung bergerak saling berlawanan.

Secara matematis gaya gesek dapat dituliskan sebagai berikut:

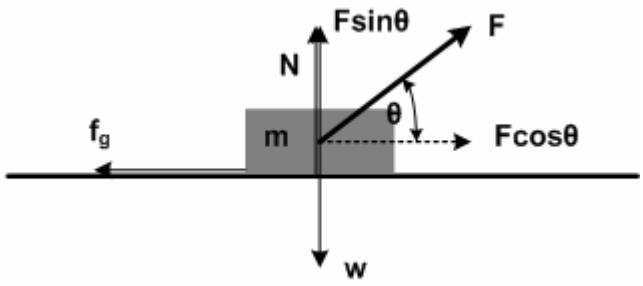
$$f = \mu.N \qquad (2.19)$$

dengan N: *gaya normal* (satuan newton), yaitu gaya yang merupakan gaya reaksi bidang tempat benda berada terhadap gaya aksi yang diberikan benda dan mempunyai arah yang tegak lurus terhadap bidang tempat benda tersebut (satuan Newton) sedangkan μ adalah koefisien

gesekan yang menyatakan tingkat kekasaran permukaan bidang (tak bersatuan).
Gaya gesek ada dua macam yaitu:

a) ***Gaya gesek statis*** (f_s) adalah gaya gesek yang dialami benda dalam keadaan tepat akan mulai bergerak, $f_s = \mu_s.N$.
b) ***Gaya gesek kinetis*** (f_k) adalah gaya gesek yang dialami benda dalam keadaan sedang bergerak, $f_k = \mu_k.N$.

Contoh pemakaian gaya gesek:



Gambar 2.6 Komponen gaya yang bekerja pada benda yang melibat gaya gesek f_g

Ingat Hukum II Newton: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

- Tinjau gaya yang bekerja pada benda sepanjang sumbu *x*:

$$Fcos\theta - f_g = ma \qquad (2.20)$$

- Tinjau gaya yang bekerja pada benda sepanjang sumbu *y*:

$$N + Fsin\theta - w = 0$$

$$N = w - Fsin\theta \qquad (2.21)$$

- Ingat, bahwa $f_g = \mu N$, sehingga

$$f_g = \mu(w - Fsin\theta) \qquad (2.22)$$

- Dari persamaan (2.20), (2.21) dan (2.22) didapat hubungan sebagai berikut:

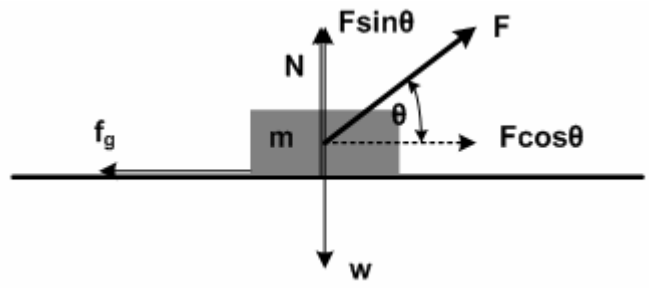
$$Fcos\theta - \mu(w - Fsin\theta) = ma \qquad (2.23)$$

- Sehingga dari persamaan (2.23) dapat disimpulkan bahwa:

a) Jika Fcosθ > f_g, benda bergerak dipercepat dengan percepatan, $a = \frac{F\cos\theta - \mu(w - F\sin\theta)}{m}$, koefisien gesek ($\mu$) yang bekerja adalah koefisien gesek kinetic (μ_k).
b) Jika $F\cos\theta = f_g$, benda tepat mulai akan bergerak (μ_s) atau melakukan gerak lurus beraturan (μ_k) (bergerak dengan kecepatan (v) konstan, sehingga $a = 0$).
c) Jika $F\cos\theta < f_g$, benda diam (μ_s).

Contoh Soal 9:
Sebuah kotak bermassa 60 kg bergerak secara horisontal karena dipengaruhi gaya sebesar 140 N. Kotak tersebut bergerak dengan kecepatan konstan. Berapakah besar koefisien gesekan antara lantai dan kotak?

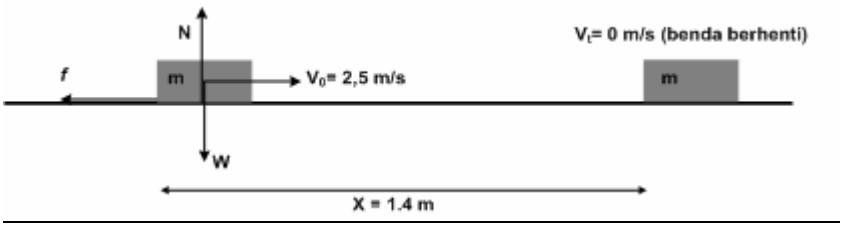
Penyelesaian:



Karena $\Sigma F_y = 0$, maka $N = w = mg = 60.\ 9{,}8 = 588$ N, selanjutnya karena bergerak mendatar dengan percepatan nol (kecepatan konstan), maka $\Sigma F_x - f = m.a_x = 0$ menghasilkan $140 - f = 0$ dengan demikian koefisien gesekan adalah : $\mu = \frac{f}{N} = 0{,}238$

Contoh Soal 10:
Sebuah kotak meluncur sepanjang lantai horisontal dengan kelajuan awal 2,5 m/s. Kotak berhenti setelah meluncur, x = 1,4 m. Tentukan besar koefisien gesekan kinetik yang dialami kotak tersebut.

Penyelesaian:



Dalam pergerakannya kotak mengalami gaya gesekan kinetis, f = -μ.mg dan percepatannya adalah $a = \frac{f}{m} = \frac{-\mu mg}{m} = -\mu g$.

Karena percepatan konstan maka dalam menghitung percepatan yang dialami kotak dapat dihitung dengan persamaan, $v^2_t = v^2_o + 2a.x = 0$ sehingga $a = -\frac{v^2_o}{2x} = -2{,}23 m/s^2$, Jadi koefisien gesekan μ = -

$$\frac{a}{g} = -\frac{-2{,}23}{9{,}8} = 0{,}228$$

Contoh Soal 11:

Sebuah mobil bergerak dengan kelajuan 30 m/s sepanjang jalan mendatar. Koefisien gesekan antara jalan dan ban adalah μ_s = 0,5 dan μ_k = 0,3. Berapa jauh mobil bergerak sebelum berhenti jika (a). mobil direm secara hati-hati sehingga roda-roda hampir selip, (b). mobil direm keras agar roda terkunci.

Penyelesaian:

Perlu diingat, gaya yang menghentikan mobil saat direm adalah gaya gesekan yang dikerjakan jalan pada ban. Jika direm secara halus sehingga ban tidak selip, gaya penghentinya adalah gaya gesekan statis. Jika ban selip, gaya penghentinya adalah gaya gesekan kinetik.

(a). Karena roda tidak selip, maka berlaku $\Sigma F_x = -\mu_s.N = m.a_x$ dengan $N = mg$, sehingga: $a_x = -\frac{\mu_s mg}{m} = -0{,}5.9{,}8 = -4{,}9 m/s^2$ karena percepatan konstan maka sampai berhenti jarak tempuhnya adalah:

$v^2 = v^2_o + 2\,a\,x$

$0 = 30^2 + 2\,(-4{,}9)\,x$, shg x = 91,8 m.

(b). Roda terkunci maka ban selip, maka berlaku $\Sigma F_x = -\mu_k.N = m.a_x$ sehingga percepatan, $a_x = -\mu_k.g = -(0{,}3).(9{,}8) = -2{,}94$ m/s^2, dengan

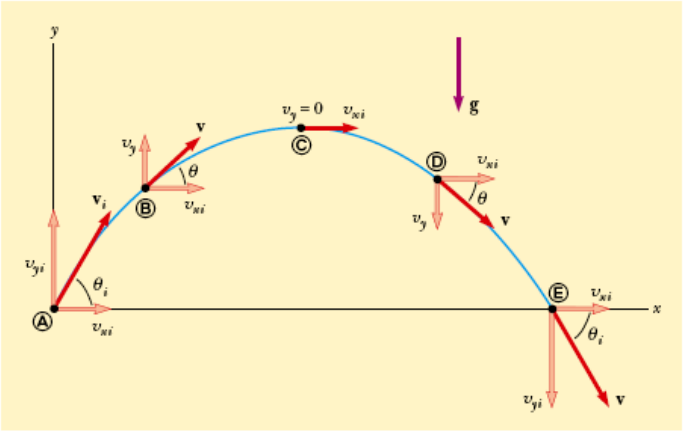
persamaan serupa di (a) diperoleh jarak penghentian mobil $x = \frac{-v^2_o}{2a} = 153m$

2.8 Gerak Melengkung

Gerak melengkung adalah suatu gerak benda yang lintasannya berupa garis lengkung. Gerak lengkung yang istimewa dibahas ada dua yaitu *gerak parabola* dan *gerak melingkar.*

A. Gerak Parabola

Gerak parabola adalah suatu gerak benda yang lintasannya berupa parabola. Gerak parabola terbentuk oleh superposisi gerak lurus beraturan ke arah horisontal (percepatannya nol, a = 0) dengan gerak lurus berubah beraturan (percepatannya yang mempengaruhi percepatan gravitasi, a = - g) yang arah vertikal. Tinjau gerak parabola pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Gerak parabola dengan kecepatan awal $\vec{v}_i$

Sebuah benda bergerak parabola (dari titik A melewati titik B, C ,D dan E) dengan kecepatan awal $\vec{v}_i$ dan sudut elevasi θ_i seperti Gambar 2.7, maka :

Keadaan awal O (0,0) : $v_{xi} = v_i \cos \theta_i$ dan $v_{yi} = v_i \sin \theta_i$
Setelah bergerak dalam waktu t (misal titik D (x,y)) maka:

$v_x = v_{xi} = v_i \cos \theta_i$; (2.24)

$x = v_{xi} \, . \, t = v_i \cos \theta_i \, . \, t$ (2.25)

$$v_y = v_{yi} - gt$$
$$v_y = v_i \sin \theta_i - gt \quad ; \qquad (2.26)$$
$$y = v_{yi} . t - \frac{1}{2} gt^2$$
$$y = v_i \sin \theta_i . t - \frac{1}{2} gt^2 \qquad (2.27)$$

arah kecepatan (θ) pada posisi ini (T) dapat dihitung dengan:

$$tg\ \theta = \frac{v_y}{v_x} \quad dan \quad \theta = tg^{-1}\left(\frac{v_y}{v_x}\right) \qquad (2.28)$$

dan besar kecepatannya adalah $v = \sqrt{v^2_{xi} + v^2_y}$ (2.29)

Pada gerak parabola terdapat dua keadaan istimewa yaitu *titik tinggi maksimum* dan *jarak mendatar maksimum* dimana benda sampai di permukaan tanah.

$v_{xi} = v_i \cos \theta_i$, dan $v_y = 0$, sehingga :

$t_{maks.} = \frac{v_i \sin \theta_i}{g}$ dan dengan mensubstitusikan dengan t_{maks} ini ke persamaan (2.24) diperoleh : $y_{maks.} = \frac{v^2_i \sin^2 \theta_i}{2g}$

Jarak mendatar maksimum (AE):

Waktu yang dibutuhkan hingga titik terjauh mendatar (AE) sebesar:

$2 . t_{maks.} = 2 . \left(\frac{v_i \sin \theta_i}{g}\right)$ dan disubstitusikan ke persamaan (2.25) diperoleh jarak mendatar maksimum (AE) :

Contoh Soal 12:

Sebuah peluru dengan massa 300 gram ditembakkan ke atas dengan kecepatan awal 200 m/s dan sudut elevasi 45^o terhadap arah vertikal. Bila diketahui $g = 10$ m/s^2. Tentukan:

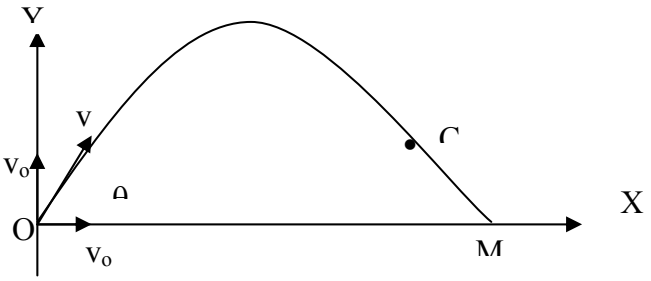
a. Vektor kecepatan dan posisi peluru setelah 20 detik.
b. Jarak mendatar peluru ketika jatuh di permukaan tanah.
c. Waktu yang dibutuhkan peluru untuk kembali di tanah dihitung mulai ditembakkan.

Penyelesaian:

(a). Dengan sumbu koordinat X dan Y seperti gambar maka :

$v_{ox} = v_o \cos 45^o = 200 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{2} = 100\sqrt{2}$ dan

$v_{oy} = v_o \sin 45^o = 100\sqrt{2}$



Setelah bergerak selama 20 detik maka kecepatannya adalah:

$v_{cx} = v_{ox} = 100\sqrt{2}$ m/s dan $v_{cy} = v_{oy} - gt = 100\sqrt{2} - 10.20 = -58{,}6$ m/s

Jadi $\bar{v}_c = 100\sqrt{2}\,\hat{i} + (-58{,}6)\,\hat{j}$ sedangkan koordinat posisinya dapat dihitung sebagai berikut :

$X_C = v_{ox}\, t = 100\sqrt{2} \,.\, 20 = 2000\sqrt{2}$ m dan

$Y_C = v_{oy}\, t - \frac{1}{2} gt^2 = (100\sqrt{2} .20) - \frac{1}{2} .10.20^2 = 828{,}4$ m dengan demikian :

$\hat{r}_C = 2000\sqrt{2}\,\hat{i} + (828{,}4)\,\hat{j}$

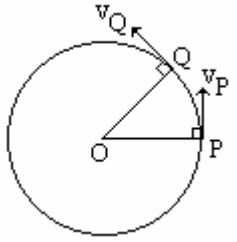
(b). Jarak mendatar peluru jatuh dihitung dari posisi awal adalah:

$$X_{OM} = \frac{v^2{}_o \sin 2\theta}{g} = \frac{200^2 \sin 90^o}{10} = 4000m$$

(c). Waktu yang dibutuhkan peluru kembali ke tanah = 2 kali waktu mencapai tinggi maksimum sehingga $t_{Puncak} = 2\ x\ (\frac{v_o \sin\theta}{g}) = 28{,}3s$

B. Gerak Melingkar

Jika sebuah benda bergerak dengan kelajuan konstan pada suatu lingkaran (di sekeliling lingkaran), maka dikatakan bahwa benda tersebut melakukan gerak melingkar beraturan.



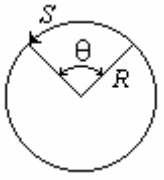
Gambar 2.8 Gerak Melingkar

Kecepatan pada gerak melingkar beraturan besarnya selalu tetap namun arahnya selalu berubah, arah kecepatan selalu menyinggung lingkaran, maka *v* selalu tegak lurus garis yang ditarik melalui pusat lingkaran ke sekeliling lingkaran tersebut.

Pengertian radian

1 (Satu) radian adalah besarnya sudut tengah lingkaran yang panjang busurnya sama dengan jari-jarinya.

Besarnya sudut:



$\theta = \frac{S}{R}$ radian

S = panjang busur

R = jari-jari

Gambar 2.9 Ilustrasi radian

Jika panjang busur sama dengan jari-jari, maka $\theta = 1$ radian. Satu radian dipergunakan untuk menyatakan posisi suatu titik yang bergerak melingkar (beraturan maupun tak beraturan) atau dalam gerak rotasi.

Keliling lingkaran = $2\pi \times$ radius, gerakan melingkar dalam 1 putaran = 2π radian.

1 putaran = $360^0 = 2\pi$ rad.

$$1 \text{ rad} = \frac{360^0}{2\pi} = 57{,}3^0$$

Frekuensi dan perioda dalam gerak melingkar beraturan

Waktu yang diperlukan sebuah titik P untuk satu kali berputar mengelilingi lingkaran di sebut waktu edar atau perioda dan diberi notasi *T*. Banyaknya putaran per detik disebut frekuensi dan diberi notasi *f*. Satuan frekuensi ialah Hertz atau cps (*cycle per second*).

Jadi antara *f* dan *T* kita dapatkan hubungan : $f.T = 1$ atau $f = \frac{1}{T}$

Kecepatan linier dan kecepatan sudut

Jika dalam waktu T detik ditempuh lintasan sepanjang keliling lingkaran sebesat $s = 2\pi R$, maka kelajuan partikel P untuk mengelilingi lingkaran dapat dirumuskan : $v = \frac{s}{t}$. Kecepatan ini disebut kecepatan linier dan diberi notasi *v*.

Kecepatan anguler (sudut) diberi notasi ω adalah perubahan dari perpindahan sudut persatuan waktu (setiap saat). Biasanya ω dinyatakan dalam radian/s, derajat per sekon, putaran per sekon (rps) atau putaran per menit (rpm).

Bila benda melingkar beraturan dengan sudut rata-rata (ω) dalam radian per sekon, maka kecepatan sudut:

$$\omega = \frac{sudut\ \ gerakan\ \ (radian)}{waktu\ \ (sekon)\ \ yang\ \ diperlukan\ untuk\ \ membentuk\ \ sudut\ tersebut.}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} \qquad (2.32)$$

Untuk 1 (satu) putaran $\omega = \frac{2\pi}{T}$ rad/s atau $\omega = 2\,\pi f$

Dengan demikian besarnya sudut yang ditempuh dalam t detik :

$$\theta = \omega t \quad \text{atau} \quad \theta = 2\pi f t \tag{2.33}$$

Sehingga antara v dan ω kita dapatkan hubungan :

$$v = \omega R \tag{2.34}$$

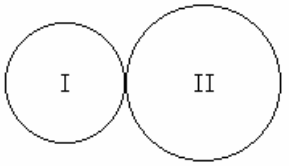
dengan

v = kecepatan translasi (m/s)
ω = kecepatan sudut (rad/s)
R = jari-jari (m)

B.1 Sistem Gerak Melingkar Pada Beberapa Susunan Roda

Sistem langsung

Pemindahan gerak pada sistem langsung yaitu melalui persinggungan roda yang satu dengan roda yang lain.



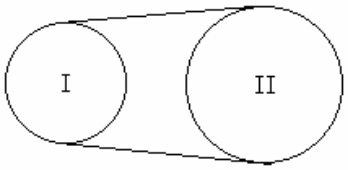
Gambar 2.10 Sistem Langsung

Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuan anguler tidak sama. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$v_1 = v_2, \textit{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2 \tag{2.35}$$

Sistem Tak Langsung

Pemindahan gerak pada sistem tak langsung yaitu pemindahan gerak dengan menggunakan ban penghubung atau rantai.



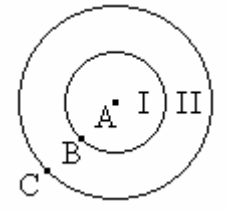
Gambar 2.11 Sistem Tak Langsung

Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuaan angulernya tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2 \tag{2.36}$$

Sistem Roda Pada Satu Sumbu (*Co-Axle*)

Jika roda-roda tersebut disusun dalam satu poros putar, maka pada sistem tersebut titik-titik yang terletak pada satu jari mempunyai kecepatan anguler yang sama, tetapi kecepatan liniernya tidak sama.



Gambar 2.12 Sistem roda pada satu sumbu

$$\omega_A = \omega_R = \omega_C, \quad \text{tetapi} \quad v_A \neq v_B \neq v_C \tag{2.37}$$

B.2 Percepatan Sentripetal

Jika suatu benda melakukan gerak dengan kelajuan tetap mengelilingi suatu lingkaran, maka arah dari kelajuan gerak benda tersebut mempunyai perubahan yang tetap. Akibatnya benda harus mempunyai percepatan yang mengubah arah kelajuan tersebut.

Arah dari percepatan ini akan selalu tegak lurus dengan arah kelajuan, atau dengan kata lain selalu menuju ke pusat lingkaran. Percepatan yang mempunyai sifat-sifat tersebut di atas dinamakan **Percepatan Sentripetalnya**.

Harga percepatan sentripetal (a_r) adalah :

$$a_r = \frac{(kecepatan\ linier\ pada\ benda)^2}{jari - jari\ lingkaran} \tag{2.38}$$

$$a_r = \frac{v^2}{R} \quad \text{atau} \quad a_r = \omega^2 R \tag{2.39}$$

Gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar beraturan disebut **Gaya Sentripetal** yang arahnya selalu ke pusat lingkaran. Sedangkan akibat dari gaya sentripetal (gaya radial) ini disebut **Gaya Sentrifugal** yang arahnya menjauhi pusat lingkaran. Adapun besarnya gaya-gaya ini adalah:

$$F = m.a$$
$$F_r = m.a_r$$

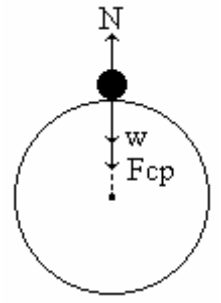
$$F_r = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad atau \quad F_r = m\,\omega^2 R \qquad (2.40)$$

dengan:

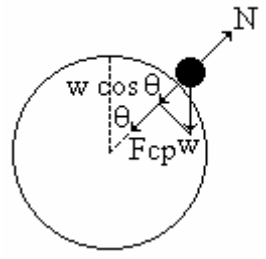
F_r = gaya sentripetal/sentrifugal
m = massa benda
v = kecepatan linier
R = jari-jari lingkaran.

B.3 Beberapa Contoh Benda Bergerak Melingkar

1. Gerak benda di luar dinding melingkar.

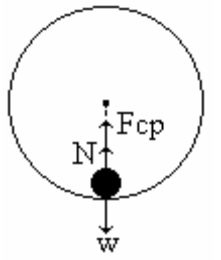


$$N = m \cdot g - m \cdot \frac{v^2}{R}$$

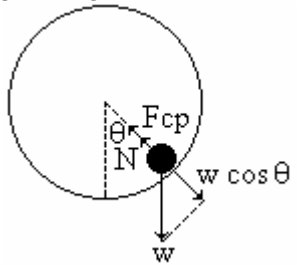


$$N = m \cdot g \cos\theta - m \cdot \frac{v^2}{R}$$

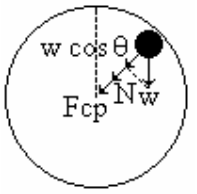
2. Gerak benda di dalam dinding melingkar.



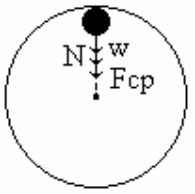
$$N = m \cdot g + m \cdot \frac{v^2}{R}$$



$$N = m \cdot g \cos\theta + m \cdot \frac{v^2}{R}$$

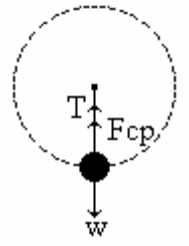


$N = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \cos \theta$

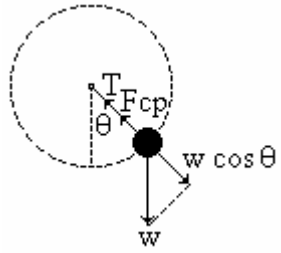


$N = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$

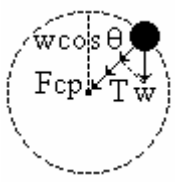
3. Benda dihubungkan dengan tali diputar vertikal.



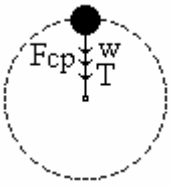
$T = m \cdot g + m \frac{v^2}{R}$



$T = m \cdot g \cos \theta + m \frac{v^2}{R}$

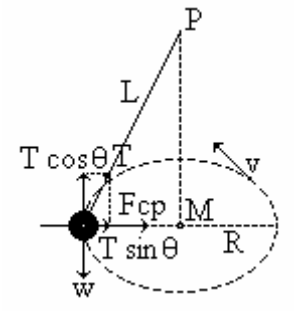


$T = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \cos \theta$



$T = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$

4. Benda dihubungkan dengan tali diputar mendatar (ayunan sentrifugal)



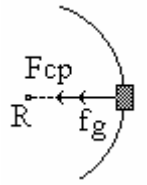
$T \cos \theta = m \, . \, g$

$T \sin \theta = m \, . \, \frac{v^2}{R}$

Periodenya $T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$

Keterangan : R adalah jari-jari lingkaran

5. Gerak benda pada sebuah tikungan berbentuk lingkaran mendatar.



$N \, . \, \mu_k = m \frac{v^2}{R}$

N = gaya normal

$N = m \, . \, g$

2.9 Kegiatan

2.9.1 Kegiatan Mengamati

Lakukan kegiatan ini dalam kelompok belajar anda. Anda dan teman anda dalam satu sekolah ingin mengamati perjalanan ke sekolah. Buatlah dulu peta lintasan yang akan anda tempuh dari rumah teman anda sampai ke sekolah. Mulailah berjalan dari rumah teman anda sesuai dengan lintasan yang telah anda buat. Ukur selang waktu dari rumah teman anda sampai ke gerbang sekolah dengan *stopwatch*.

Sesuai dengan konsep kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata, hitunglah kelajuan dan kecepatan rata-rata jalan anda. Presentasikan hasil kelompok belajar anda di depan kelas.

2.9.2 Kegiatan Berpikir

Anda bersama teman-teman sedang bertamasya ke Malang dengan naik mobil. Teman yang duduk di belakang supir selama 10 menit mengamati bahwa *speedometer* mobil selalu tetap pada angka 60 km/jam. Dia kemudian mengatakan bahwa selama 10 menit itu mobil tidak mengalami percepatan. Teman lain menanggapi bahwa selama 10 menit itu mobil mengalami percepatan tetapi percepatannya tetap. Apa

Anda setuju dengan salah satu pendapat teman Anda, atau Anda mempunyai pendapat yang lain?

2.9.3 Kegiatan Menemukan dan Demonstrasi

a) Buatlah kelompok dalam kelas anda, temukan beberapa contoh aplikasi Hukum I, II dan III Newton.
b) Demonstrasi merasakan gaya sentripetal
   i. Ikatkan bola pada salah satu ujung tali dan pegang ujung tali lainnya
   ii. Putar tali sehingga bola menempuh gerak melingkar horisontal di atas kepala anda. Rasakan gaya yang sedang bekerja pada tali. Ke arah manakah tali menarik tangan anda? Kea rah manakah tali menarik bola?
   iii. Putarlah bola lebih cepat. Apakah pengaruh perubahan kelajuan bola terhadap besar gaya yang bekerja pada tangan anda? Apa yang terjadi dengan gerak bola jika tali anda lepaskan?

2.10 Rangkuman

1. Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerak tanpa mengidahkan penyebabnya, sedangkan Dinamika adalah ilmu yang mempelajari gerak dan gaya-gaya penyebanya.
2. Gerak lurus beraturan ialah gerak dengan lintasan serta kecepatannya selalu tetap. **Kecepatan (*v*)** adalah besaran vektor yang besarnya sesuai dengan perubahan lintasan tiap satuan waktu. **Kelajuan** ialah besaran skalar yang besarnya sesuai dengan perubahan lintasan tiap satuan waktu.
3. Bila sebuah benda mengalami perubahan kecepatan yang tetap untuk selang waktu yang sama, maka dikatakan bahwa benda tersebut mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB).
4. Gerak jatuh bebas ini merupakan gerak lurus berubah beraturan tanpa kecepatan awal (v_0), yang percepatannya disebabkan karena gaya tarik bumi dan disebut percepatan gravitasi bumi (g).
5. Dalam peristiwa sehari-hari kita sering menjumpai keadaan yang menunjukkan pemakaian dari Hukum I Newton. Sebagai contoh ketika kita naik kendaraan yang sedang melaju kencang, secara tiba-tiba kendaraan tersebut mengerem, maka tubuh kita akan terdorong kedepan. Kasus lain adalah ketika kita naik kereta api dalam keadaan diam, tiba-tiba melaju kencang maka

tubuh kita akan terdorong kebelakang. Keadaan tersebut di atas disebut juga Hukum **Kelembaman.**

6. Percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dan searah dengan gaya itu dan berbanding terbalik dengan massa benda (Hukum II Newton).
7. Bila sebuah benda A melakukan gaya pada benda B, maka benda B juga akan melakukan gaya pada benda A yang besarnya sama tetapi berlawanan arah. Gaya yang dilakukan A pada B disebut : ***gaya aksi.*** Gaya yang dilakukan B pada A disebut : ***gaya reaksi.***
8. **Gaya gesek** adalah gaya yang timbul pada dua bidang permukaan benda yang bersinggungan dan mempunyai kekasaran dimana keduanya cenderung bergerak saling berlawanan.
9. Gerak melengkung adalah suatu gerak benda yang lintasannya berupa garis lengkung. Gerak lengkung yang istimewa dibahas ada dua yaitu *gerak parabola* dan *gerak melingkar.*

2. 11. Soal Uji Kompetensi

2.11.1 Gerak Lurus

1. Sebuah benda dengan massa 1 kg, jatuh bebas dari ketinggian 10 meter. Jika percepatan gravitasi bumi = 10 m/s^2, maka kecepatan benda pada ketinggian 5 meter adalah ....
   a. 25 m/s
   b. 20 m/s
   c. 15 m/s
   d. 10 m/s
   e. 5 m/s

2. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 31,25 m. Jika percepatan gravitasi bumi di tempat itu 10 m/s^2, maka pada saat benda berada di ketinggian 20 m dari tanah kecepatan benda tersebut adalah . . ..
   a. 10 ms^{-1}
   b. 5 ms^{-1}
   c. 20 ms^{-1}
   d. 20,6 ms^{-1}
   e. 25 ms^{-1}

3. Dua buah benda A dan B yang bermassa masing-masing m, jatuh bebas dari ketinggian h meter dan 2h meter. Jika A menyentuh tanah dengan kecepatan v m/s, maka benda B akan menyentuh tanah dengan energi kinetik sebesar ....
   a. 1/2 $m.v^2$
   b. $m.v^2$
   c. 1/3 $m.v^2$
   d. 1/4 $m.v^2$
   e. 3/2 $m.v^2$

4. Suatu benda jatuh bebas dari ketinggian tertentu ke tanah. Apabila gesekan dengan udara diabaikan, kecepatan benda pada saat mengenai tanah ditentukan oleh . . ..
   a. percepatan gravitasi bumi dan massa benda
   b. waktu jatuh yang dibutuhkan dan berat benda
   c. ketinggian benda yang jatuh dan gravitasi bumi
   d. luas permukaan benda
   e. massa dan ketinggiannya

5. Sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian h tanpa kecepatan awal. Jika percepatan gravitasi bumi di tempat itu g, maka kecepatan bola pada waktu akan tiba di tanah adalah ....
   a. $\sqrt{(2h/g)}$
   b. $\sqrt{(2g/h)}$
   c. $\sqrt{(2gh)}$
   d. $\sqrt{(2h)}$
   e. $\sqrt{(gh)}$

6. Perbedaan antara laju dan kecepatan adalah ....
   a. laju mempunyai besar dan arah, sedangkan kecepatan hanya mempunyai besar saja
   b. kecepatan mempunyai besar dan arah, sedangkan laju hanya mempunyai arah saja
   c. laju hanya mempunyai arah saja, kecepatan hanya mempunyai besar saja
   d. laju hanya mempunyai besar saja, kecepatan hanya mempunyai arah saja
   e. laju mempunyai besar dan tidak mempunyai arah, sedangkan kecepatan mempunyai besar dan arah

7. Yang dimaksud dengan percepatan adalah ....
   a. lintasan yang ditempuh dalam waktu tertentu
   b. perubahan lintasan tiap satuan waktu
   c. kecepatan yang dimiliki benda dalam waktu tertentu
   d. perubahan kecepatan tiap satuan waktu
   e. perubahan lintasan tiap detik

8. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal 5 m/s. Kemudian benda tersebut diberi gaya searah dengan kecepatan sebesar 30 N.

Jika massa benda 1 kg, hitunglah kecepatan benda setelah bergerak sejauh 10 m !

a. 15 m/s
b. 20 m/s
c. 25 m/s
d. 50 m/s
e. 150 m/s

9. Dari sebuah menara yang tingginya 100 m dilepaskan suatu benda. Jika percepatan gravitasi bumi = 10 m/s^2, maka kecepatan benda pada saat mencapai tanah adalah ....

a. $10\sqrt{10}\ m/s$
b. $10\sqrt{20}\ m/s$
c.10 m/s
d. $100\sqrt{10}\ m/s$
e. 1000 m/s

10. Perbedaan jarak dan perpindahan pada gerak lurus adalah ....
    a. kedua-duanya adalah besaran vektor
    b. kedua-duanya adalah besaran skalar
    c. jarak adalah besaran skalar dan perpindahan adalah besaran vektor
    d. jarak adalah besaran vektor, tetapi perpindahan adalah besaran skalar
    e. Jarak ditentukan oleh arah sedangkan perpindahan tidak

2.11.2 Hukum Newton tentang Gerak

1. Koefisien gesek statis antara sebuah lemari kayu dan lantai kasar suatu bak truk sebesar 0,75. Jadi, percepatan maksimum yang masih boleh dimiliki truk agar lemari tetap tak bergerak terhadap bak truk itu adalah . . . .

a. nol
b. 0,75m/s^2
c. 2,5 m/s^2
d. 7,5 m/s^2
e. 10 m/s^2

2. Sebuah benda bermassa 2 kg terletak di tanah. Benda itu ditarik vertikal ke atas dengan gaya 25 N selama 2 detik lalu dilepaskan. Jika g = 10 m/s^2, energi kinetik benda pada saat mengenai tanah adalah . . . .

a. 150 joule
b. 125 joule
c. 100 joule
d. 50 joule
e. 25 joule

3. Sebuah mobil massanya 2 ton dan mula-mula diam. Setelah 5 detik kecepatan mobil menjadi 20 m/s. Gaya dorong yang bekerja pada mobil ialah . . . .
   a. 100 N
   b. 200 N
   c. 400N
   d. 800 N
   e. 8000 N

4. Apabila sebuah benda bergerak dalam bidang datar yang kasar maka selama gerakannya. . . . .
   a. gaya normal tetap dan gaya gesekan berubah
   b. gaya normal berubah dan gaya gesekan tetap
   c. gaya normal dan gaya gesekan kedua-duanya tetap
   a, gaya normal dan gaya gesekan kedua-duanya berubah
   e. gaya normal dan gaya gesekan kadang-kadang berubah dan tetap bergantian

5. Mobil 700 kg mogok di jalan yang mendatar. Kabel horisontal mobil derek yang dipakai untuk menyeretnya akan putus jika tegangan di dalamnya melebihi 1400 N (g = 10 m/s^2). Percepatan maksimum yang dapat diterima mobil mogok dan mobil derek adalah ....
   a. 2 m/s^2
   b. 8 m/s^2
   c. 10 m/s^2
   d. 7 m/s^2
   e. 0 m/s^2

6. Pada sebuah benda yang bergerak, bekerja gaya sehingga mengurangi kecepatan gerak benda tersebut dari 10 m/s menjadi 6 m/s dalam waktu 2 detik. Bila massa benda 5 kg, besar gaya tersebut adalah ....
   a. 5N
   b. 6 N
   c. 8N
   d. 10N
   e. 11N

7. Peristiwa di bawah ini yang tidak mempunyai hukum kelembaman adalah ....
   a. Bila mobil yang kita tumpangi direm mendadak, tubuh kita terdorong ke depan
   b. Bila kita berdiri di mobil, tiba-tiba mobil bergerak maju tubuh kita terdorong ke belakang.

c. Pemain ski yang sedang melaju, tiba-tiba tali putus, pemain ski tetap bergerak maju.
d. Pemain sepatu roda bergerak maju, tetap akan bergerak maju walaupun pemain itu tidak memberikan gaya.
e. Penerjun payung bergerak turun ke bawah walaupun tidak didorong dari atas.

8. Jika gaya sebesar 1 N bekerja pada benda 1 kg yang dapat bergerak bebas, maka benda akan mendapat . . ..
   a. kecepatan sebesar 1 m/s
   c. percepatan sebesar 1 m/s^2
   c. percepatan sebesar 10 m/s^2
   d. kecepatan sebesar 10 m/s
   e. kecepatan sebesar 10 m/s

9. A naik bus yang bergerak dengan kecepatan 40 km/jam. Tiba-tiba bus direm secara mendadak, akibatnya A terdorong ke muka. Hal ini disebabkan karena ....
   a. gaya dorong bus
   b. gaya dari rem
   c. sifat kelembaman dari A
   d. sifat kelembaman dari bus
   e. gaya berat A

10. Sebuah benda sedang meluncur pada suatu bidang miring dengan kecepatan konstan, ini berarti . . . .
    a. bidang itu merupakan bidang licin sempurna
    b. komponen berat dari benda yang sejajar bidang miring harus lebih besar dari gaya geseknya
    c. komponen berat dari benda yang sejajar bidang miring harus lebih kecil dari gaya geseknya
    d. komponen berat dari benda yang sejajar bidang miring harus sama dengan gaya geseknya
    e. berat benda harus sama dengan gaya geseknya

11. Suatu benda bermassa 2 kg yang sedang bergerak, lajunya bertambah dari 1 m/s menjadi 5 m/s dalam waktu 2 detik bila padanya beraksi gaya yang searah dengan gerak benda, maka besar gaya tersebut adalah ....
    a. 2 N
    b. 4 N
    c. 5 N
    d. 8 N
    e. 10 N

12. Sebuah mobil massanya 1 ton selama 4 detik kecepatannya bertambah secara beraturan dan 10 m/det menjadi 18 m/det. Besar gaya yang mempercepat mobil itu adalah ....
    a. 2000 N
    b. 4000 N
    c. 6000 N
    d. 8000 N
    e. 10000 N

13. Benda massanya 2 kg berada pada bidang horisontal kasar. Pada benda dikerjakan gaya 10 N yang sejajar bidang horisontal, sehingga keadaan benda akan bergerak. Bila g = 10 m/s^2, maka koefisien gesekan antara benda dan bidang adalah ....
    a. 0,2
    b. 0,3
    c. 0,4
    d. 0,5
    e. 0,6

14. Benda beratnya 98 newton (g = 10 m/s^2) diangkat dengan gaya vertikal ke atas sebesar 100 newton, maka percepatan yang dialami benda ....
    a. nol
    b. 0,2 m/s^2
    c. 0,4 m/s^2
    d. 2 m/s^2
    e. 5 m/s^2

15. Sebuah benda massanya 4 kg terletak pada bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan 45 derajat terhadap horisontal. Jadi, besar gaya yang menahan benda itu…. (g = 10 m/s^2)
    a. 2 V2 N
    b. 8 V2 N
    c. 20 V2 N
    d. 40 N
    e. 40 V2 N

16. Kalau kita berada dalam sebuah mobil yang sedang bergerak, kemudian mobil tersebut direm, maka badan kita terdorong ke depan, hal ini sesuai …..
    a. Hukum Newton I
    b. Hukum Newton II
    c. Hukum Aksi-Reaksi
    d. Hukum Gaya berat
    e. Hukum Pascal

17. Pada benda bermassa m bekerja gaya F ke atas yang menimbulkan percepatan a (percepatan gravitasi = g). Hubungan besaran tersebut dapat dirumuskan …..
    a. F = m.g
    b. F = m (a + g)
    c. F = m (a/2) + m.g
    d. m.g = F + m.a
    e. m.a = F + m.g

18. Sebuah elevator yang massanya 1500 kg diturunkan dengan percepatan 1 m/s^2. Bila percepatan gravitasi bumi g = 9,8 m/s^2, maka besarnya tegangan pada kabel penggantung sama dengan……
    a. 32400 N
    b. 26400 N
    c. 16200 N
    d. 14700 N
    e. 13200 N

19. Gaya gesek pada benda yang bergerak di atas lantai kasar …..
    a. searah dengan arah gerak
    b. berlawanan dengan arah gaya berat
    c. menyebabkan benda berhenti
    d. mempunyai harga maksimum pada saat benda akan bergerak
    e. menyebabkan benda bergerak lurus beraturan

20. Dari hukum Newton II dapat disimpulkan bahwa jika gaya yang bekerja pada sebuah benda berubah, maka . . . .
    a. massa dan percepatannya berubah
    b. massa dan percepatannya tidak berubah
    c. massa berubah dan percepatannya tidak berubah
    d. massa tidak berubah dan percepatannya berubah
    e. volumenya berubah

21. Jika sebuah benda terletak pada bidang miring, maka gaya normal pada benda itu.....
    a. sama dengan berat benda
    b. lebih kecil dari berat benda
    c. lebih besar dari berat benda
    d. dapat lebih besar atau lebih kecil dari berat benda
    e. dapat sama atau tidak sama dengan berat benda

22. Seorang yang massanya 80 kg ditimbang dalam sebuah lift. Jarum timbangan menunjukkan angka 1000 newton. Apabila percepatan gravitasi bumi = 10 m/s^2 dapat disimpulkan bahwa....
    a. massa orang di dalam lift menjadi 100 kg

b. lift sedang bergerak ke atas dengan kecepatan tetap
c. lift sedang bergerak ke bawah dengan kecepatan tetap
d. lift sedang bergerak ke bawah dengan percepatan tetap
e. lift sedang bergerak ke atas dengan percepatan tetap

23. Sebuah benda massanya 2 kg terletak di atas tanah. Benda tersebut ditarik ke atas dengan gaya 30 N selama 2 detik lalu dilepaskan. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2, maka tinggi yang dapat dicapai benda adalah :
    a. 10 meter
    b. 12 meter
    c. 15 meter
    d. 18 meter
    e. 20 meter

24. Sebuah benda bermassa 20 kg terletak pada bidang miring dengan sudut 30derajat terhadap bidang horisontal, Jika percepatan gravitasi 9,8 m/s^2 dan benda bergeser sejauh 3 m ke bawah, usaha yang dilakukan gaya berat ....
    a. 60 joule
    b. 65,3 joule
    c. 294 joule
    d. 294,3 joule
    e. 588 joule

25. Sebuah benda yang beratnya *W* meluncur ke bawah dengan kecepatan tetap pada suatu bidang miring kasar. Bidang miring tersebut membentuk sudut 30 derajat dengan horisontal. Koefisien gesekan antara benda dan bidang tersebut adalah ....

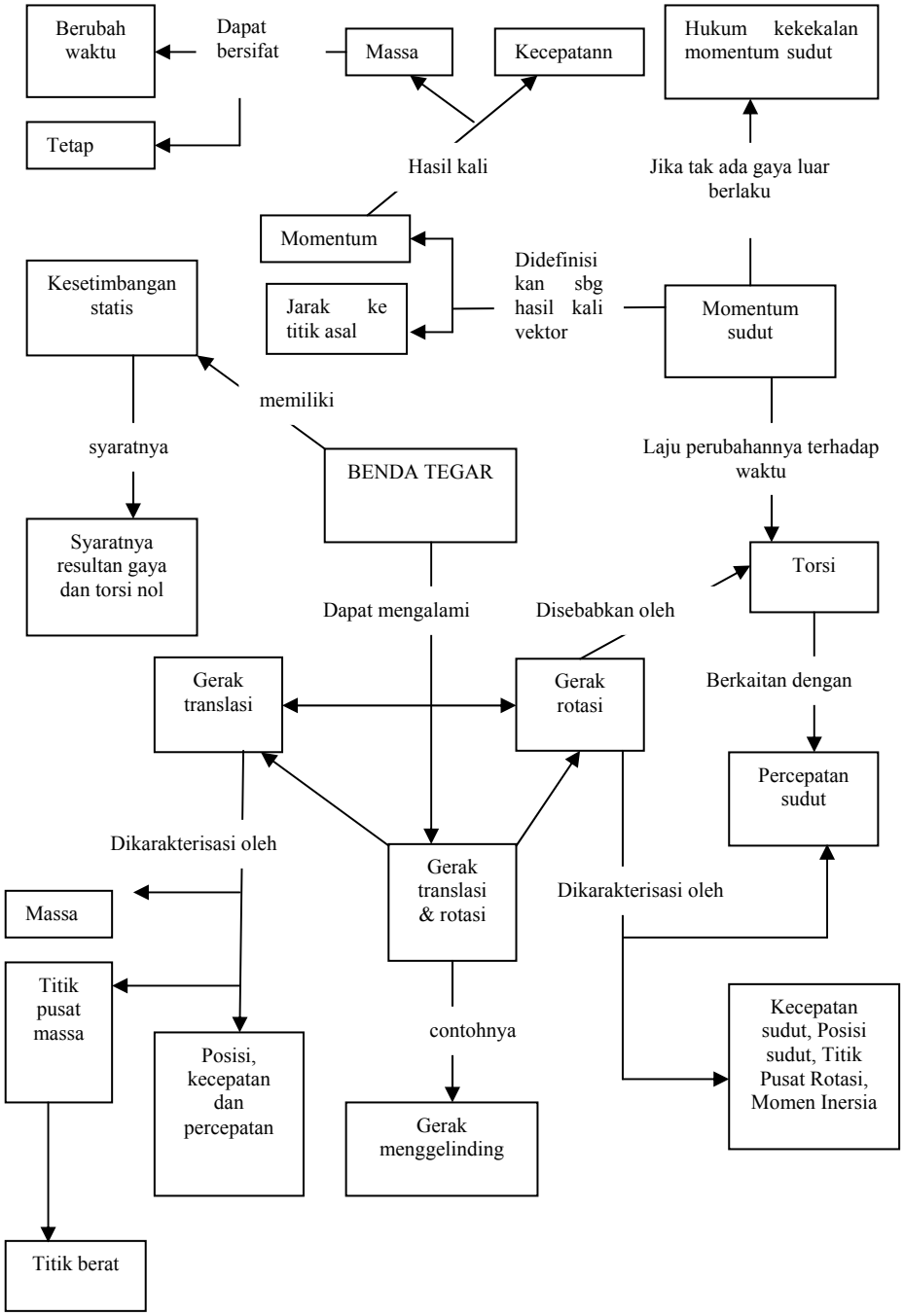
    a. $1/2\sqrt{3}$ W
    b. 1/2 W
    c. $1/2\sqrt{3}$
    d. $1/3\sqrt{3}$
    e. 1/2

BAB 3
DINAMIKA ROTASI DAN KESETIMBANGAN BENDA TEGAR



Benda tegar adalah benda yang dianggap sesuai dengan dimensi ukuran sesungguhnya di mana jarak antar partikel penyusunnya tetap. Ketika benda tegar mendapatkan gaya luar yang tidak tepat pada pusat massa, maka selain dimungkinkan gerak translasi benda juga bergerak rotasi terhadap sumbu rotasinya. Coba Anda amati pergerakan mainan di salah satu taman hiburan seperti gambar di atas. Para penumpang bisa menikmati putaran yang dilakukan oleh motor penggerak yang terletak di tengah. Karena gerak rotasinya maka para penumpang mempunyai energi kinetik rotasi di samping momentum sudut. Di samping itu pula besaran fisis yang lain juga terkait seperti momen inersia, kecepatan dan percepatan sudut, putaran, serta torsi.

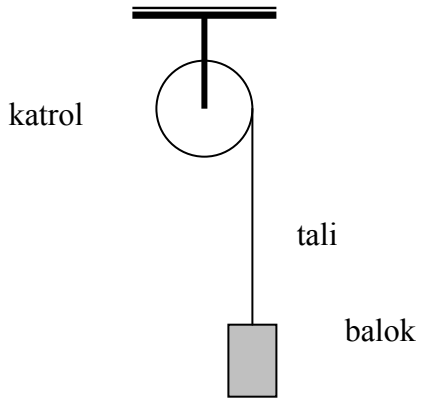
PETA KONSEP


Berubah waktu
Dapat bersifat
Tetap
Massa
Kecepatann
Hasil kali
Hukum kekekalan momentum sudut
Jika tak ada gaya luar berlaku
Momentum
Jarak ke titik asal
Didefinisi kan sbg hasil kali vektor
Momentum sudut
Kesetimbangan statis
memiliki
syaratnya
BENDA TEGAR
Laju perubahannya terhadap waktu
Syaratnya resultan gaya dan torsi nol
Torsi
Dapat mengalami
Disebabkan oleh
Gerak translasi
Gerak rotasi
Berkaitan dengan
Percepatan sudut
Dikarakterisasi oleh
Gerak translasi & rotasi
Dikarakterisasi oleh
Massa
Titik pusat massa
Posisi, kecepatan dan percepatan
contohnya
Kecepatan sudut, Posisi sudut, Titik Pusat Rotasi, Momen Inersia
Gerak menggelinding
Titik berat

Cek Kemampuan Prasyarat

Sebelum Anda mempelajari Sub-bab ini, kerjakan terlebih dahulu soal-soal berikut ini di buku latihan Anda. Jika Anda dapat mengerjakan dengan benar, maka akan memudahkan Anda dalam mempelajari materi di Sub-bab berikutnya.

1. Apa yang dimaksud dengan diagram gaya untuk benda bebas?
2. Tuliskannlah bunyi hukum kekekalan energi mekanik.
3. Gambarkanlah diagram gaya untuk benda bebas yang terdiri katrol dan balok berikut:



3.1 Dinamika Rotasi

Seperti yang telah Anda pelajari tentang materi dinamika partikel, di mana suatu benda sebagai obyek pembahasan dianggap sebagai suatu titik materi mengalami gerak translasi (dapat bergerak lurus atau melengkung) jika resultan gaya eksternal yang bekerja pada benda tersebut tidak nol ($\Sigma\vec{F} \neq 0$). Untuk menyelesaikan masalah dinamika partikel, Anda harus menguasai menggambar diagram gaya untuk benda bebas dan kemudian menggunakan Hukum II Newton ($\Sigma\vec{F} = ma$).

Dalam Sub-bab ini Anda akan mempelajari materi ***dinamika rotasi benda tegar***. Benda tegar adalah suatu benda dimana partikel-partikel penyusunnya berjarak tetap antara partikel satu dengan yang lainnya. Benda tegar sebagai objek pembahasan, ukurannya tidak diabaikan (tidak dianggap sebagai satu titik pusat materi), di mana resultan gaya eksternal dapat menyebabkan benda bergerak translasi dan juga rotasi (berputar terhadap suatu poros tertentu). Gerak rotasi

disebabkan oleh adanya ***torsi***, τ yaitu tingkat kecenderungan sebuah gaya untuk memutar suatu benda tegar terhadap suatu titik poros.

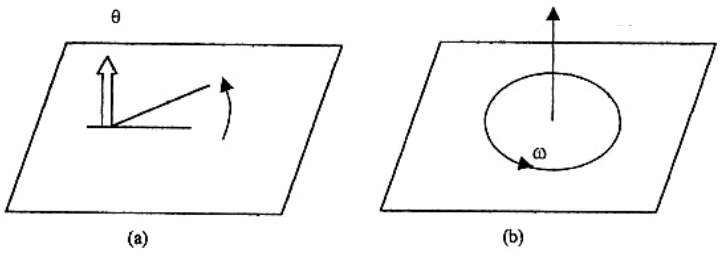
Untuk menyelesaikan masalah dinamika rotasi benda tegar, Anda harus menguasai menggambar diagram gaya benda bebas, kemudian menggunakan $\Sigma\vec{F} = ma$ untuk benda yang bergerak translasi dan menggunakan $\Sigma\tau = I\alpha$ untuk benda yang bergerak rotasi, dengan I (kg.m^2) besaran momen inersia dan α percepatan sudut.

Dalam materi dinamika partikel, Anda telah mempelajari dan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik untuk menyelesaikan masalah gerak translasi dan ternyata dapat terelesaikan dengan lebih mudah dan cepat dibanding dengan menggunakan analisa dinamika partikel $\Sigma\vec{F} = ma$. Hal demikian juga berlaku pada pemecahan masalah gerak rotasi tertentu seperti gerak menggelinding (gabungan translasi dan rotasi) benda tegar yang menuruni atau mendaki suatu permukaan bidang miring, dimana penggunaan hukum kekekalan energi mekanik lebih mudah dan cepat dibanding menggunakan analisa dinamika rotasi yang menggunakan persamaan $\Sigma\vec{F} = ma$ dan $\Sigma\tau = I\alpha$.

Sebelum materi dinamika rotasi, Anda telah mempelajari hukum kekekalan momentum linier. Dalam Sub-bab ini Anda akan diperkenalkan dengan materi hukum kekekalan momentum sudut. Contoh aplikasi hukum ini ditemui pada pada atlit penari es yang melaukan peningkatan laju putarannya dengan cara menarik kedua lengannya dari terentang ke merapat badannya.

3.2. Kecepatan dan Percepatan Angular

Dalam membahas materi tentang gerak rotasi Anda harus terlebih dahulu mempelajari besaran fisis gerak rotasi yaitu pergeseran sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut. Besaran pergeseran sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut selalu dinyatakan dalam bentuk vektor, masing-masing dilambangkan dengan $\overline{\theta}, \overline{\omega}$ *dan* $\overline{\alpha}$. Arah pergeseran sudut adalah positif bila gerak rotasi (melingkar atau berputar) berlawanan dengan arah putaran jarum jam, sedangkan arah vektornya (seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1) sejajar dengan sumbu rotasi (sumbu putar) yaitu arah maju sekrup putar kanan.



Gambar 3.1 (a) arah $\bar{\theta}$ tegak lurus bidang (b) arah $\bar{\omega}$ sejajar dengan sumbu putar

Kecepatan sudut didefinisikan sebagai perbandingan pergeseran sudut dengan waktu tempuh dengan arah kecepatan sudut searah dengan pergeseran sudut atau searah dengan sumbu putar yaitu:

$$\bar{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \tag{3.1}$$

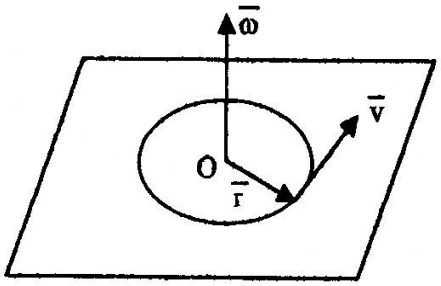
Sedangkan *percepatan sudut* $\bar{\alpha}$ didefinisikan sebagai perbandingan kecepatan sudut dengan waktu tempuh yang dinyatakan sebagai:

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \tag{3.2}$$

dengan θ: pergeseran sudut, radian (rad), t: waktu, sekon (s), ω: kecepatan sudut (rad/s), α: percepatan sudut, (rad/s^2).

Dari persamaan (3.2) terlihat bahwa percepatan sudut $\bar{\alpha}$ bergantung pada perubahan arah kecepatan sudut $\bar{\omega}$ (kalau sumbu putar arahnya berubah) dan bergantung pada perubahan besar kecepatan sudut $\bar{\omega}$.

Dalam gerak melingkar yang jari-jarinya r dan kecepatan sudutnya $\bar{\omega}$, besar kecepatan linier benda adalah $v = \omega r$, sedang arahnya sama dengan arah garis singgung pada lingkaran di titik dimana benda berada. Kecepatan linier benda dinyatakan sebagai $\bar{v} = \bar{\omega} \, x \, \bar{r}$, yang menunjukkan bahwa arah $\bar{v}$ tegak lurus baik terhadap $\bar{\omega}$ maupun $\bar{r}$, yaitu searah dengan arah maju sekrup putar kanan bila diputar dari $\bar{\omega}$ ke $\bar{r}$ seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Benda terletak pada posisi $\bar{r}$ brgerak melingkar dengan kecepatan sudut $\bar{\omega}$

Sehingga persamaan gerak melingkar :

$$\theta = \omega_o t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

Persamaan kecepatan gerak melingkar

$$\omega = \omega_o + \alpha t$$

Contoh soal 1

Sebuah cakram berputar dengan percepatan sudut konstan 2 rad/s^2. Jika cakram mulai dari keadaan diam berapa putaran dan kelajuan sudutnya setelah 10 s?

Penyelesaian:

Cakram melakukan gerak melingkar berubah beraturan dengan percepatan konstan, maka sudut tempuh yang dilakukan dihitung dengan:

$$\theta = \omega_o t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2}(2rad/s^2)(10s)^2 = 100rad$$

jumlah putaran yang dilakukan cakram adalah

$$100radx\frac{1putaran}{2\pi rad} = 15{,}9\,putaran$$

Sedangkan kecepatan sudut yang dilakukan cakram dihitung dengan:

$$\omega = \omega_o + \alpha t = 0 + (2rad/s^2)(10s) = 20rad/s^2$$

Kegiatan 1. *Menghitung kecepatan sudut dan kecepatan linier.*

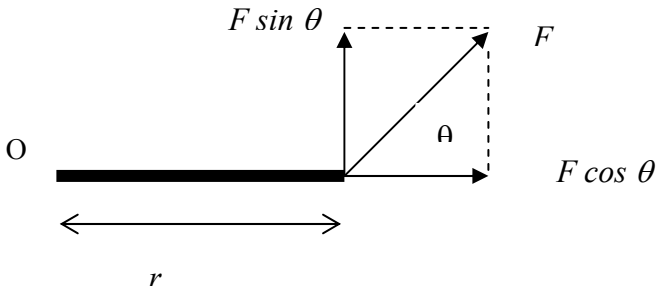
1. Ambil sepeda angin dan posisikan agar roda belakang dapat berputar dengan baik.
2. Ukur dan catat radius roda,
3. Beri tanda pada "pentil" sebagai acuan obyek pengamatan,
4. Putar roda dan pastikan "pentil" berputar sejauh setengah putaran (180^o) dan catat waktu yang diperlukan dengan menggunakan stop wacth,
5. Tentukan kecepatan sudut dari pentil tersebut,
6. Tentukan kecepatan linier dari pentil yang dianggap berada pada tepian roda.

Tugas 1.

Sebuah gerinda dengan radius 15 cm diputar dari keadaan diam dengan percepatan sudut 2 rad/s^2. Jika gerinda berputar selama 10 sekon, tentukan kecepatan sudutnya, kecepatan linier titik di tepi gerinda, berapa jumlah putaran yang ditempuh gerinda tersebut?

3.3. Torsi dan Momen Inersia

Bila Anda ingin memutar permainan gasing, Anda harus memuntirnya terlebih dahulu. Pada kasus itu yang menyebabkan gasing berotasi adalah *torsi.* Untuk memahami torsi dalam gerak rotasi, Anda tinjau gambar batang langsing yang diberi poros di salah satu ujungnya (titik O) dan diberikan gaya F yang membentuk sudut θ terhadap horizontal seperti yang ditunjukkan Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Batang langsing yang diputar oleh F terhadap titik poros O

Gaya F mempunyai komponen ke arah horizontal, $F\cos\theta$ dan arah vertikal $F\sin\theta$ sedangkan jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dengan sumbu rotasi disebut *lengan, r*. Dari kedua komponen gaya tersebut yang dapat menyebabkan batang langsing berotasi terhadap titik poros rotasi adalah komponen gaya $F\sin\theta$, karena komponen gaya ini yang menimbulkan torsi pada batang sehingga batang langsing dapat berputar berlawanan dengan arah putaran jarum jam sedangkan komponen gaya $F\cos\theta$ tidak menyebabkan torsi pada batang langsing.

Hasil kali sebuah gaya dengan lengannya dinamakan ***torsi, τ***

$$\vec{\tau} = \vec{r}x\vec{F} = rF\sin\theta$$

dengan θ sudut antara lengan gaya dengan garis kerja gaya dan arah torsi searah sekrup diputar kanan.

Dari hukum ke dua Newton untuk massa yang konstan dapat ditulis:

$$\overline{F} = m\,\overline{a} \qquad (3.3)$$

Jika kedua ruas persamaan (3.3) ini dikalikan secara silang dengan $\overline{r}$, diperoleh

$$\bar{r}\,x\,\overline{F} = \bar{r}\,xm\vec{\alpha}r$$

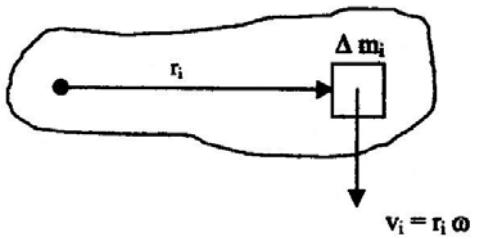
$$\vec{\tau} = mr^2\vec{\alpha} = I\vec{\alpha} \qquad (3.4)$$

Besaran skalar dalam persamaan (3.4) didefinisikan sebagai bersaran *momen inersia I*, untuk benda tegar yang tersusun dari banyak partikel dengan masing-masing massa $m_1, m_2, m_3, ..., m_N$ dan berjarak tegak lurus terhadap titik poros masing-masing $r_1, r_2, r_3, ..., r_N$ maka momen inersia sistem partikel tersebut adalah:

$$I = \sum_{i=1}^{N} m_i r_i^2 \qquad (3.5)$$

Bila suatu benda tegar seperti pada Gambar 3.4 berputar terhadap sumbu yang tegak lurus bidang gambar melalui titik O, dengan memandang bahwa benda tegar tersebut tersusun dari jumlahan elemen kecil massa Δm_i, maka momen inersia dalam persamaan (3.5) dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = \sum_{i=1}^{N} r_i^2 \Delta m_i \qquad (3.6)$$



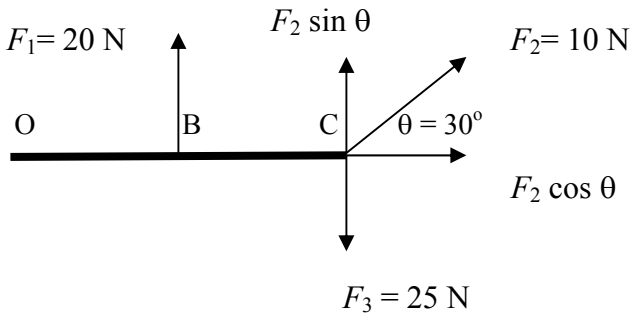
Gambar 3.4 Benda tegar dengan distribusi massa kontinu yang berputar terhadap titik o

Apabila elemen massa Δm_i diambil sangat kecil ($\Delta m_i \rightarrow 0$), maka bentuk jumlahan dalam persamaan (3.6) dapat diganti dengan bentuk intergral, jadi momen inersianya adalah:

$$I = \sum_{i} r_i^2 \Delta m_i \qquad (3.7)$$

dengan *r* adalah jarak elemen massa *dm* terhadap sumbu putar.

Contoh soal 3.2.
Sebuah batang langsing 1 meter dikenai tiga gaya seperti gambar, bila poros terletak di salah satu ujung O, tentukan torsi total yang dilakukan oleh ketiga gaya tersebut pada batang langsing terhadap poros O.



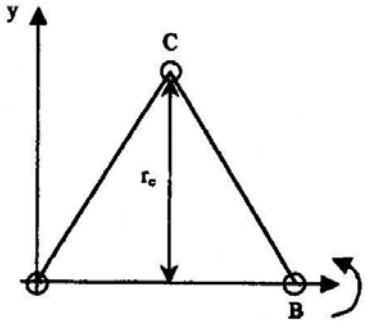
Penyelesaian:

Gaya (N)	Lengan torsi (m)	Torsi (mN)	Arah torsi
F_1=20	OB = 0,5	0,5 x 20 = 10	Berlawanan arah jarum jam
F_2 cos θ	0	0	-
F_2 sin 30^o = 5	OC = 1	1 x 5 = 5	berlawanan arah jarum jam
F_3 = 25	OC = 1	(-1) x 25 = -25	searah jarum jam

Jadi momen inersia terhadap poros O adalah (10) + (5) + (-25) = -10 (mN). Tanda negatif menunjukkan arah torsi total berlawanan arah jarum jam.

Contoh soal 3.3.

Tiga benda kecil massanya masing-masing 0,1 kg, 0,2 kg dan 0,3 kg, diletakkan berturut-turut pada titik A (0,0) m, B (4,0) m dan C (2,3) m seperti pada Gambar dan dihubungkan dengan batang tegar yang massanya diabaikan. Berapakah momen inersia sistem ini bila diputar terhadap sumbu X ?



Penyelesaian:

Ketiga benda terletak secara diskrit,

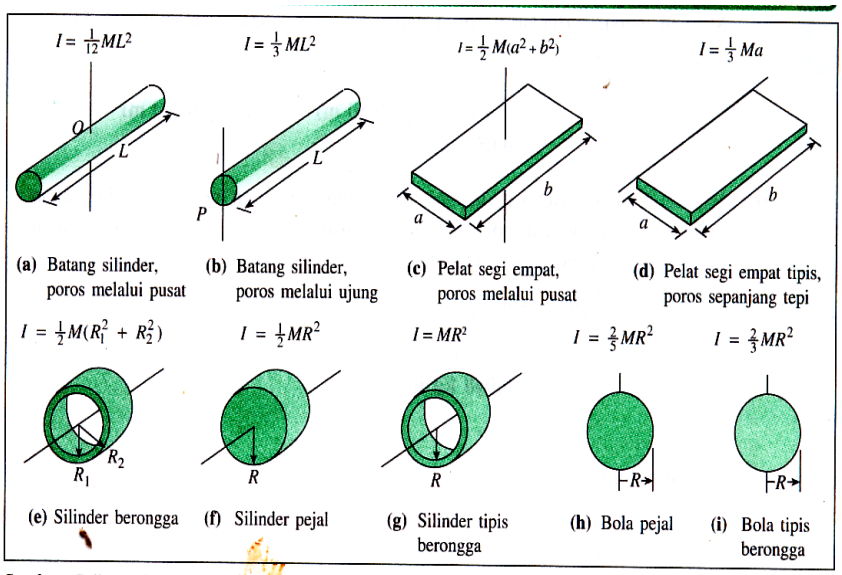
momen inersia:

$$I = m_A r_A^2 + m_B r_B^2 + m_C r_C^2$$

Mengingat benda A dan B terletak sepanjang sumbu rotasi, maka r_A dan r_B sama dengan nol, sehingga

$I = m_C r_C^2 = (0{,}3 \text{ kg}) (3\text{m})^2 = 2{,}7 \text{ kg m}^2$.

Tabel 3.1. Momen inersia benda-benda yang sering dikenal



Sumber: *College Physics, Serway R.A, Faughn J.S.*

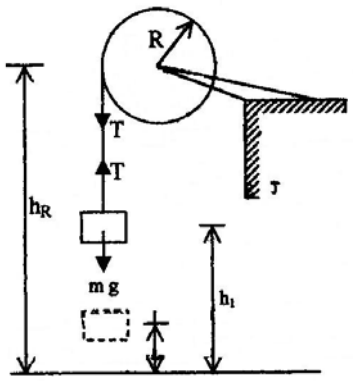
3.3. Pemecahan Masalah Dinamika Rotasi

Untuk memecahkan persoalan dinamika rotasi, apabila di dalamnya terdapat bagian sistem yang bergerak translasi maka pemecahannya dapat dilakukan dengan mengambil langkah-langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi benda bagian dari sistem sebagai obyek pembahasan dan kelompokkan mana yang bergerak translasi dan yang rotasi.
2. Tentukan sumbu koordinat yang memudahkan untuk penyelesaian berikutnya.
3. Gambar diagram gaya benda bebas untuk masing-masing benda.
4. Gunakan persamaan $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$ untuk translasi dan $\Sigma\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$ untuk gerak rotasi.
5. Padukan dua persamaan pada langkah 4 untuk penyelesaian akhir.

Untuk memahami penyelesaian dengan urutan langkah tersebut di atas, silakan Anda mengimplementasikan pada studi kasus dinamika rotasi berikut ini:

Contoh soal 3.4.
Benda *A* massa *m* (kg) dihubungkan dengan tali pada sebuah roda putar berjari-jari *R* dan bermassa *M* (kg) seperti Gambar . Bila mula-mula benda *A* diam pada ketinggian h_1 (m) kemudian dilepas sampai pada ketinggian h_2 (m), tentukan tegangan tali dan percepatan linier benda *A* sepanjang geraknya.



Penyelesaian :

Analisa rotasi:

Setelah benda A dilepas roda (bagian sistem yang berotasi) berputar dengan percepatan sudut α, dalam hal ini gaya penggerak rotasinya adalah gaya tegangan tali *T*. Dari hukum kedua Newton untuk gerak rotasi $\bar{\tau} = I\bar{\alpha}$ dan definisi momen inersia roda terhadap sumbunya I = $\frac{1}{2}MR^2$, diperoleh $\bar{T}x\bar{R} = \frac{1}{2}MR^2\bar{\alpha}$

Karena *T* tegak lurus *R*, maka bila ditulis dalam bentuk skalar menjadi

$$TR \sin 90^0 = \frac{1}{2}MR^2\alpha$$

Analisis translasi:

Benda A merupakan bagian system yang bertranslasi, percepatan linier benda A sama dengan percepatan linier roda, yaitu $a = \alpha R$, sehingga gaya tegangan tali dapat dinyatakan dalam:

$$T = \frac{1}{2}Ma$$

Sepanjang gerakan benda A berlaku hukum ke dua Newton :

$$mg - T = ma$$

Sehingga dengan memasukkan harga *T,* maka besaran percepatan linier benda *A,* percepatan sudut roda dan gaya tegangan tali berturut-turut dapat dinyatakan sebagai

$$a = \frac{2m}{M+2m} g$$

$$\alpha = \frac{2m}{M+2m} \frac{g}{R}$$

$$T = \frac{M}{M+2m} mg$$

Kegiatan 2. *Menghitung percepatan linier dan sudut, tegangan tali.*

1. Ambil katrol dan tali, susunlah membentuk system mekanik dimana di kedua ujung tali diberi dua ember yang sama,
2. Isi masing-masing ember dengan air, 2 kg dan 4 kg,
3. Posisikan system awalnya diam setimbang dengan posisi kedua ember sama tinggi,
4. Dari keadaan setimbang, kedua ember dilepas,
5. Ukur radius katrol, massa katrol dan hitung momen inersianya,
6. Dengan stop watch, catat waktu yang dibutuhkan ketika salah satu ember menempuh 50 cm,
7. Dengan analisa kinematika translasi dan rotasi, hitung percepatan linier ember, tegangan tali dan percepatan sudut katrol.

Tugas 2.

Seorang siswa mengamati seorang pekerja bangunan yang sedang mengangkat benda balok 40 kg ke atas lantai 2 setinggi 3 m dari lantai dasar dengan menggunakan "krane" /sistem katrol. Jika radius katrol 25 cm dan benda sampai di lantai 2 dalam waktu 3 sekon, hitung percepatan sudut katrol dan tegangan tali. Percepatan benda bergerak ke atas 1 m/s.

3.4. Pemecahan Masalah Dinamika Rotasi dengan Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Anda telah mencoba mengimplementasikan pemecahan masalah dinamika rotasi dengan menggunakan hukum II Newton $\Sigma F = ma$ dan $\Sigma \tau = I\alpha$. Perlu Anda ingat pula bahwa masalah

dinamika translasi dapat juga diselesaikan secara mudah dan cepat dengan hukum kekekalan energi mekanik, demikian juga secara analogi masalah dinamika rotasi dapat juga diselesaikan dengan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik. Pada bagian ini kita akan mempelajari cara pemecahan masalah dinamika rotasi berupa gerak menggelinding dengan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik.

Gerak menggelinding adalah suatu gerak dari benda tegar yang melakukan gerak translasi sekaligus melakukan gerak rotasi. Benda tegar yang melakukan gerak menggelinding maka selama gerakan berlaku hukum kekekalan energi mekanik, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$E_M(mekanik) = E_P(potensial) + E_K(translasi) + E_K(rotasi)$$

$$E_M = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \qquad (3.8)$$

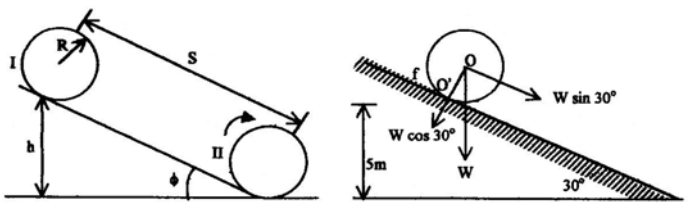
Energi kinetik translasi dihitung berdasarkan asumsi bahwa benda adalah suatu partikel yang kelajuan liniernya sama dengan kelajuan pusat massa sedangkan energi kinetik rotasi dihitung berdasarkan asumsi bahwa benda tegar berotasi terhadap poros yang melewati pusat massa.

Sekarang Anda implementasikan pada masalah gerak menggelinding dari silinder pejal pada lintasan miring dengan dua cara sekaligus berikut ini:

Contoh soal 3.4.

Sebuah silinder pejal bermassa M dan berjari-jari R diletakkan pada bidang miring dengan kemiringan θ terhadap bidang horisontal yang mempunyai kekasaran tertentu. Setelah dilepas silinder tersebut menggelinding, tentukan kecepatan silinder setelah sampai di kaki bidang miring!

Cara penyelesaiannya:



Persoalan ini dapat diselesaikan menggunakan konsep dinamika atau menggunakan hukum kekekalan tenaga mekanik.

a. <u>*Penyelesaian secara dinamika*</u>

Silinder menggelinding karena bidang miring mempunyai tingkat kekasaran tertentu. Momen gaya terhadap sumbu putar yang menyebabkan silinder berotasi dengan percepatan sudut α ditimbulkan oleh gaya gesek *f,* yang dapat ditentukan melalui

$$fR = I\alpha$$

karena momen inersia silinder terhadap sumbunya adalah $I = \frac{1}{2}MR^2$ dan percepatan linier $a = \alpha R$, maka gaya gesek dapat dinyatakan sebagai

$$f = \frac{1}{2}Ma$$

Pada gerak menggelinding tersebut pusat massa silinder bergerak translasi, sehingga berlaku hukum kedua Newton.

$$Mg \sin\theta - f = Ma$$

Setelah memasukkan harga f di atas dapat diketahui percepatan linier silinder, yaitu $a = \frac{2}{3}g \sin\theta$

Dengan menggunakan hubungan $v^2 = v^2_0 + 2as$, dan mengingat kecepatan silinder saat terlepas $v_o = 0$ dan $h = s \sin\theta$, maka kecepatan silinder setelah sampai di ujung kaki bidang adalah:

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$$

Terlihat bahwa kecepatan benda *menggelinding lebih lambat* daripada bila benda tersebut *tergelincir* (meluncur) tanpa gesekan yang kecepatannya:

$$v = \sqrt{2gh}$$

b. *Penyelesaian menggunakan kekekalan tenaga mekanik*
Pada gerak menggelinding berlaku hukum kekekalan tenaga mekanik, tenaga mekanik silinder pada kedudukan 1 adalah:

$$E_1 = E_{p1} = Mg\,(h + R)$$

Sedangkan tenaga mekanik silinder pada kedudukan 2 adalah:

$$E_2 = E_{p2} + E_{k2} + E_{kR2}$$
$$= MgR + \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\varpi^2$$

Perubahan tenaga mekanik yang terjadi adalah

$$W_f = \Delta E = E_2 - E_1 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\varpi^2 - Mgh$$

Karena $W_f = 0$, maka dengan memasukkan momen inersia silinder $I = \frac{1}{2}MR^2$ dan $\varpi = \frac{v}{R}$, kecepatan silinder setelah sampai di ujung kaki bidang miring besarnya adalah: $v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$

Kegiatan 3. *Menerapkan hukum kekelan energi mekani*k

1. Silakan ambil sebuah bola sepak dan ukur radius beserta massanya,
2. Tempatkan bola pada puncak sebuah papan kayu yang miring (kemiringan 53^o terhadap horizontal),
3. Lepaskan bola dari puncak (awalnya diam),
4. Catat waktu yang dibutuhkan bola dari posisi awal hingga dasar,
5. Jika papan kasar, hitung kecepatan linier dan kecepatan sudut dari bola ketika mencapai dasar dengan menggunakan analisa kinematika dan kekekalan energi mekanik.

Tugas 3.

Berapakah kecepatan linier bola pejal beradius 15 cm , massanya 2 kg jika dilepas pada bidang miring licin dengan kemiringan 53^o terhadap horizontal. Bola dilepas dari ketinggian 4 m.

3.5. Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Pada gerak rotasi, benda mempunyai besaran yang dinamakan momentum sudut yang analog pada gerak translasi yang terdapat besaran momentum linier. *Momentum sudut*, *L,* merupakan besaran vektor dengan besar berupa hasil kali momen inersia, *I*, dengan kecepatan sudut ω, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \qquad (3.9)$$

Bila momen gaya eksternal resultan yang bekerja pada suatu benda tegar sama dengan nol, maka momentum sudut total sistem tetap. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *kekekalan momentum sudut*.
Tinjau suatu benda tegar berotasi mengelilingi sumbu z yang tetap, momentum sudut benda tersebut adalah

$$\overline{L}_Z = I\overline{\omega}$$

dengan *I* adalah momen inersia benda, sedangkan ω adalah kecepatan sudutnya. Bila tak ada momen gaya eksternal yang bekerja, maka L_Z tetap, sehingga bila *I* berubah maka ω harus berubah agar efek perubahannya saling meniadakan. Kekekalan momentum sudut akan berbentuk:

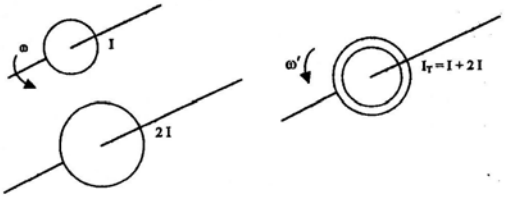
$$I\,\omega = I_o\omega_o \qquad (3.10)$$

dengan I_o dan ω_o adalah momen inersia benda dan kecepatan sudut mula-mula. Prinsip ini sering dipakai oleh penari balet atau peloncat indah untuk dapat berputar lebih cepat, yaitu dengan mengatur rentangan tangan maupun kakinya.

Contoh soal 3.5.
Roda pertama berputar pada as (sumbu) dengan kecepatan sudut 810 putaran/menit. Roda kedua mula-mula diam, momen inersianya 2 kali momen inersia roda pertama. Bila roda ke dua tiba-tiba digabungkan sesumbu dengan roda pertama, seperti ditunjukkan pada Gambar.

a. berapakah kecepatan sudut dari gabungan ke dua roda?
b. berapakah besarnya tenaga kinetik yang hilang?

Penyelesaian :



a. Karena digabungkan sesumbu, kedua roda bergerak dengan kecepatan sudut yang sama, dan pada gerak rotasi gabungan tersebut tidak ada momen gaya luar yang bekerja, sehingga berlaku hukum kekekalan momentum sudut.

Momentum sudut awal = momentum sudut akhir

Misal kecepatan sudut roda pertama mula-mula ω dan kecepatan sudut gabungan kedua roda adalah ω', maka

$$I\omega = 3I\omega' \rightarrow \omega' = \frac{\omega}{3}$$

Karena frekuensi putaran roda pertama 810 putaran/menit, maka kecepatan sudut gabungan kedua roda tersebut adalah $\omega' = 2\pi \cdot \frac{810}{3} rad / menit$

b. Tenaga kinetik rotasi gabungan

$$E_{k'} = \frac{1}{2} I_T \omega'^2$$

$$= \frac{3}{2} I \left(\frac{1}{3} \omega \right)^2 = \frac{1}{6} I \omega^2$$

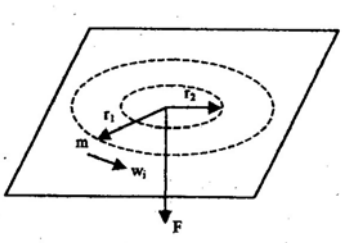
dengan I_T adalah momen inersia gabungan kedua roda, sehingga tenaga kinetik rotasi yang hilang adalah

$$\frac{1}{2} I \omega^2 - \frac{1}{6} I \omega^2 = \frac{2}{3} I \omega^2$$

yaitu 2/3 dari tenaga kinetik rotasi pertama sebelum digabung.

Contoh soal 3.6

Sebuah benda kecil bermassa m diikatkan diujung tali. Tali diputar hingga bergerak melingkar pada bidang horizontal dengan jari-jari r_1 dan laju v_1. Kemudian tali ditarik ke bawah sehingga lingkarannya menjadi r_2 (dengan $r_2 < r_1$). Nyatakan laju v_2 dan laju putaran ω_2 terhadap harga mula-mula v_1 dan ω_1!



Penyelesaian :
Pada saat tangan menarik tali ke bawah, gaya penariknya (*F)* berimpit dengan sumbu putar massa m, sehingga gaya ini tidak menyebabkan momen gaya. Karenanya pada kasus ini berlaku hukum kekekalan momentum sudut

$$L_1 = L_2$$
$$mv_1r_1 = mv_2r_2$$

jadi laju v_2 adalah $v_2 = \frac{r_1}{r_2} v_1$. Dalam bentuk laju putaran, hukum kekekalan momentum dapat dinyatakan sebagai $mr_1^2 \varpi_1 = mr_2^2 \varpi_2$, jadi laju putaran ω_2 adalah $\varpi_2 = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \varpi_1$.

3.6 Kesetimbangan Benda

Dalam subbab ini Anda akan dipelajari kesetimbangan benda tegar. Kesetimbangan ada dua yaitu kesetimbangan statis (benda dalam keadaan tetap diam) dan kesetimbangan kinetis (benda dalam keadaan bergerak lurus beraturan). Benda dalam keadaan kesetimbangan apabila padanya berlaku $\Sigma \vec{F} = 0$ (tidak bergerak translasi) dan $\Sigma \tau = 0$ (tidak berotasi). Berikutnya dalam subbab ini apabila tidak dinyatakan, yang dimaksud kesetimbangan adalah kestimbangan statis (benda tetap diam) dan supaya mempermudah dalam menyelesaikan masalah kestimbangan, Anda harus menguasai menggambar diagram gaya benda bebas dan menghitung torsi terhadap suatu poros oleh setiap gaya dari diagram gaya benda bebas tersebut.

A. Kesetimbangan Statis Sistem Partikel

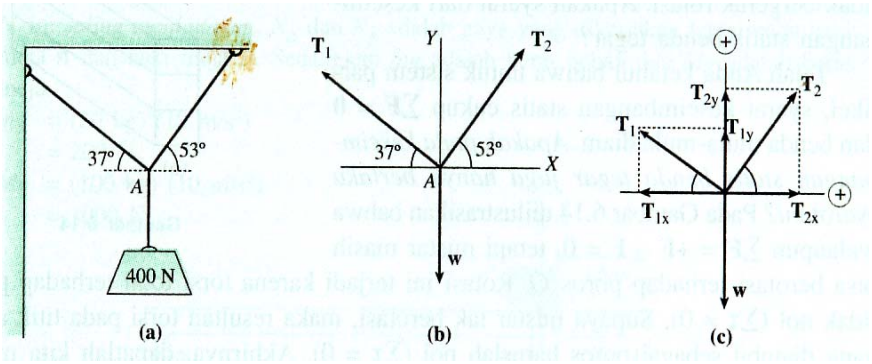
Dalam system yang tersusun dari partikel, benda dianggap sebagai satu titik materi. Semua gaya eksternal yang bekerja pada system tersebut dianggap bekerja pada titik materi tersebut sehingga gaya tersebut hanya menyebabkan gerak translasi dan tidak menyebabkan gerak rotasi. Oleh karena itu kesetimbangan yang berlaku pada sistem partikel hanyalah kesetimbangan translasi.
Syarat kesetimbangan partikel adalah:

$\Sigma\vec{F} = 0$ yang meliputi $\Sigma F_x = 0$ dan $\Sigma F_y = 0$ (3.11)

dengan ΣF_x : resultan gaya pada komponen sumbu x

ΣF_y : resultan gaya pada komponen sumbu y.

Untuk memahami masalah kesetimbangan sistem partikel, silahkan pelajari studi kasus kesetimbangan berikut:
Benda dengan berat 400 N digantung pada keadaan diam oleh tali-tali seperti pada Gambar 3.5. Tentukan besar tegangan-tegangan pada kedua tali penahannya.



Gambar 3.5. Sistem kesetimbangan partikel.

Penyelesaian:
Dari gambar (c), diperoleh komponen tegangan tali sebagai berikut:

$T_{1x} = T_1 \cos 37^o = 0{,}8T_1$ $\quad$ $T_{2x} = T_2 \cos 53^o = 0{,}6T_2$

$T_{1y} = T_1 \sin 37^o = 0{,}6T_1$ $\quad$ $T_{2y} = T_2 \sin 53^o = 0{,}8T_2$

Berikutnya kita menggunakan persamaan kesetimbangan statis partikel dan perhatikan tanda *positif* untuk arah ke kanan atau atas dan *negatif* untuk arah ke kiri atau bawah.

$\Sigma F_x = 0$ $\qquad$ $\Sigma F_y = 0$

$T_{2x} - T_{1x} = 0$ $\qquad$ $T_{1y} + T_{2y} - W = 0$

$0{,}6T_2 = 0{,}8T_1$ (1) $\qquad$ $0{,}6T_1 + 0{,}8T_2 - 400 = 0$ (2)

Dengan mensubstitusi nilai T_2 dari persamaan (1) ke persamaan (2) kita dapat nilai tegangan tali T_2 = 320 N dan dengan mensubstitusi ke persamaan (1) diperoleh nilai tegangan tali T_1 = 240 N.

B. Kesetimbangan Benda Tegar

Suatu benda tegar yang terletak pada bidang datar (bidang XY) berada dalam keadaan kesetimbangan statis bila memenuhi syarat:

1. Resultan gaya harus nol
   $\Sigma F = 0$ yang mencakup $\Sigma F_x = 0$ dan $\Sigma F_y = 0$
2. Resultan torsi harus nol
   $\Sigma \tau = 0$

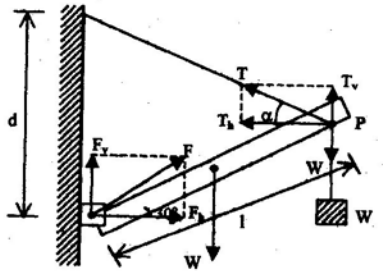
Untuk memahami masalah kesetimbangan benda tegar, tinjau pemecahan studi kasus berikut ini:

Contoh soal 3.7

Sebuah batang homogen dipasang melalui engsel pada dinding. Pada jarak d = 2 m diatas engsel diikatkan kawat yang ujung lainnya dihubungkan dengan ujung batang. Batang membentuk sudut 30^0 terhadap horisontal, dan pada ujung batang digantungkan beban berat W_2 = 40 N melalui sebuah tali. Jika berat batang adalah W_1 = 60 N dan panjang batang adalah 1 = 3 m, tentukan gaya tegangan dalam kawat dan gaya yang dilakukan engsel pada batang!

Penyelesaian:

Penguraian gaya yang bekerja pada sistem ditunjukkan pada Gambar.



Dari syarat seimbang $\sum \overline{F} =$ **nen vertikal dan horisontalnya b**

$\sum \overline{F_v} = 0$: $F_v +$

$T_v + F_v = W + w = 100\ N$ *(a)*

$\sum F_h = 0$: $F_h - T_h = 0$, *atau* $F_h = T_h$ (b)

sedangkan dari syarat $\sum \tau = 0$, bila momen gaya dihitung terhadap titip P, hasilnya adalah

$$F_v(1 \cos 30^0) - F_h (1 \sin 30^0) - W\left(\frac{1\cos 30^0}{2}\right) = 0$$

Diperoleh

$$F_v = 0.577\ F_h + 30\ N \qquad \text{(c)}$$

Hubungan dalam persamaan (a), (b) dan (c) belum dapat diselesaikan, karena dari ke tiga persamaan tersebut terdapat empat variabel yang belum diketahui. Untuk menyelesaikannya tinjau hubungan antara komponen-komponen tegangan tali *T*,

$$T_v = T_h \tan \alpha$$

Karena

$$\tan \alpha = \frac{d - 1\sin 30^0}{1\cos 30^0} = \frac{2m - (3m)(0.5)}{(3m)(0.866)} = 0.192$$

maka $T_v = 0.192\ T_h$ (d)

bila (d) dimasukkan ke dalam (a) diperoleh

$$F_v = 100\ N - 0.192\ T_h \quad \text{(e)}$$

Sedangkan (c) dapat dinyatakan dalam

$$F_v = 0.577\ T_h + 30N \quad \text{(f)}$$

Dari penyelesaian persamaan (e) dan (f) diperoleh

$$T_h = 91\ N$$
$$F_v = 82.5\ N$$

Dan bila F_v dan T_h ini dimasukkan ke dalam (a) dan (b), diperoleh

$$T_v = 17.5\ N$$
$$F_h = 91\ N$$

Sehingga besar gaya tegangan tali adalah

$$T = \sqrt{T_h^2 + T_v^2} = 92.7N$$

Dan gaya penopang pada engsel adalah

$$F = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = 122.83N$$

C. Titik Berat

Definisi dan Cara Menentukan Titik Berat

Titik berat dari suatu benda tegar adalah titik tunggal yang dilewati oleh resultan dari semua gaya berat dari partikel penyusun benda tegar tersebut. Titik berat disebut juga dengan pusat gravitasi.

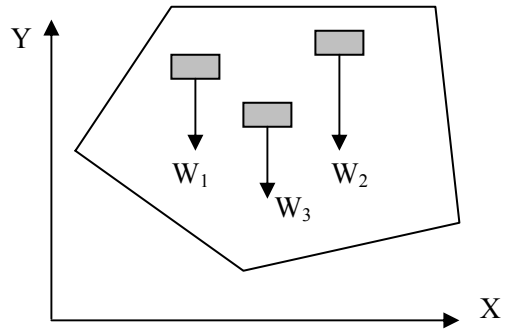
Letak titik berat dari suatu benda secara kuantitatif dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut. Tinjau benda tegar tak beraturan terletak pada bidang XY seperti Gambar 3.5. Benda tersusun oleh sejumlah besar partikel dengan berat masing-masing w_1, w_2, w_3, berada pada koordinat (x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_3,y_3). Tiap partikel menyumbang torsi terhadap titik O sebagai poros yaitu w_1x_1, w_2x_2, w_3x_3. Torsi dari berat total benda W dengan absis X_G adalah WX_G, di mana torsi ini sama dengan jumlah torsi dari masing-masing partikel

penyusun benda tegar. Dengan demikian kita dapat rumusan absis titik berat sebagai berikut:

$$X_G = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \ldots}{w_1 + w_2 + w_3 + \ldots} = \frac{\Sigma w_i x_i}{\Sigma w_i} \tag{3.12}$$

dengan cara yang sama diperoleh ordinat titik berat sebagai berikut:

$$Y_G = \frac{w_1y_1 + w_2y_2 + w_3y_3 + \ldots}{w_1 + w_2 + w_3 + \ldots} = \frac{\Sigma w_i y_i}{\Sigma w_i} \tag{3.13}$$



Gambar 3.6. Titik berat sejumlah partikel dari benda tegar

Keidentikan Titik Berat dan Pusat Massa

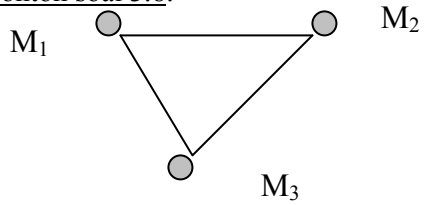
Gaya berat suatu benda tegar merupakan hasil kali antara massa benda dengan percepatan gravitasi ($w = mg$). Untuk itu apabila gaya berat benda $w = mg$ disubstitusikan ke persamaan 3.12 dan 3.13 akan diperoleh *titik pusat massa* (X_G,Y_G) yang identik dengan titik berat.

$$X_G = \frac{m_1gx_1 + m_2gx_2 + m_3gx_3 + \ldots}{m_1g + m_2g + m_3g + \ldots} = \frac{\Sigma m_i x_i}{\Sigma m_i} \tag{3.14}$$

dan

$$Y_G = \frac{m_1gy_1 + m_2gy_2 + m_3gy_3 + \ldots}{m_1g + m_2g + m_3g + \ldots} = \frac{\Sigma m_i y_i}{\Sigma m_i} \tag{3.15}$$

Contoh soal 3.8.



Tiga massa M_1= 5 kg (4,4); M_2 = 10 kg (10,4) dan M_3 = 5 kg (6,0) membentuk sistem partikel benda tegar yang dihubungkan penghubung kaku seperti gambar. Tentukan titik berat dari sistem partikel tersebut.

Penyelesaian:
Dengan menggunakan persamaan 3.12 dan 3.13 diperoleh titik berat (X_G,Y_G) :

$$X_G = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + ...}{w_1 + w_2 + w_3 + ...} = \frac{\Sigma w_i x_i}{\Sigma w_i}$$

$$= \frac{5.4 + 10.10 + 5.6}{5 + 10 + 5} = \frac{150}{20} = 7{,}5$$

$$Y_G = \frac{w_1y_1 + w_2y_2 + w_3y_3 + ...}{w_1 + w_2 + w_3 + ...} = \frac{\Sigma w_i y_i}{\Sigma w_i} = \frac{5.4 + 10.4 + 5.0}{5 + 10 + 5} = \frac{60}{20} = 3$$

Kegiatan 4. Menentukan titik pusat massa

1. Ambil sebuah lembar kertas karton dengan ukuran 30 cm x 40 cm,
2. Timbang dan catat massa kertas karton tersebut,
3. Buat perpotongan garis diagonal,
4. Buat garis yang membagi kertas karton menjadi empat bagian yang sama,
5. Tempatkan acuan titik pusat (0,0) di titik perpotongan diagonal,
6. Secara teoritis tentukan titik pusat massa kertas karton dengan menggunakan empat luasan bagian kertas yang Anda buat,
7. Buktikan bahwa titik pusat massa kertas karton berada di titik perpotongan garis diagonal dengan cara ambil sebuah benang yang diikatkan pada sebarang titik pada kertas karton dan posisikan kertas menggantung dan setimbang,
8. Amati bahwa posisi benang akan segaris / melewati titik pusat massa yang berada di perpotongan diagonal.

Tugas 4.
Tentukan titik pusat massa dari selembar seng dengan bentuk sebarang dengan cara melakukan penyeimbangan dengan benang dan digantungkan sehingga posisi setimbang. Lakukan pada dua titik ikat benang berbeda posisi pada seng tersebut. Titik pusat massa ditentukan dengan melakukan perpotongan perpanjangan garis yang segaris dengan benang tersebut.

3.7 Rangkuman

1. Pemecahan masalah dinamika rotasi dilakukan dengan menggunakan Hukum II Newton translasi $\Sigma\vec{F} = ma$ dan rotasi $\Sigma\tau = I\alpha$.
2. Pemecahan masalah dinamika rotasi dapat juga dilakukan dengan menggunakan Hukum Kekekalan energi mekanik :
   $E_M(mekanik) = E_P(potensial) + E_K(translasi) + E_K(rotasi)$

   $$E_M = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$
3. Momen inersia adalah besaran yang merupakan hasil kali massa dengan kwadrat jarak massa terhadap sumbu rotasi, untuk system terdiri banyak partikel, momen inersianya adalah: $I = \sum_{i=1}^{N} m_i r_i^2$.
4. Dalam dinamika rotasi terdapat besaran momentum sudut, dimana besarnya perubahan kecepatan momentum sudut yang terjadi sebanding dengan torsi yang bekerja pada benda yang berotasi. Jika selama berotasi resultan torsi pada benda sama dengan nol, maka pada benda berlako kekekalan momentum sudut, $L_o = L'$.
5. Kesetimbangan system partikel harus memenuhi syarat $\Sigma\vec{F} = 0$ yang meliputi $\Sigma F_x = 0$ dan $\Sigma F_y = 0$, sedang untuk kesetimbangan benda tegar harus memenuhi syarat resultan gaya harus nol, $\Sigma F = 0$ yang mencakup $\Sigma F_x = 0$ dan $\Sigma F_y = 0$ dan
   Resultan torsi harus nol, $\Sigma\tau = 0$.

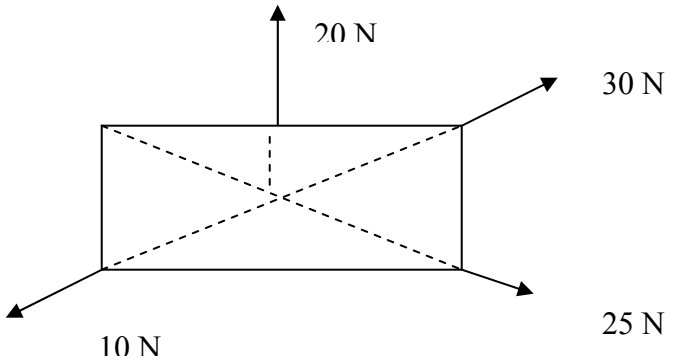
6. Titik berat suatu benda dapat dihitung dengan rumus :

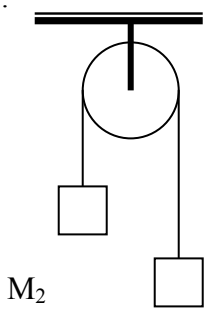
$$X_G = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \ldots}{w_1 + w_2 + w_3 + \ldots} = \frac{\Sigma w_i x_i}{\Sigma w_i}$$

3.8 Soal Kompetensi

1. Pada sebuah roda yang mempunyai momen inersia 8 kg.m^2 dikenai torsi pada tepinya sebesar 50 m.N.
   (a). Berapakah percepatan sudutnya?
   (b). Berapakah lama waktu yang dibutuhkan roda dari diam sampai roda mempunyai kecepatan sudut 88,4 rad/s?
   (c). Berapakah besar energi kinetik roda tersebut pada kecepatan sudut 88,4 rad/s?

2. Tentukan torsi total dan arahnya terhadap poros O (perpotongan diagonal) dari persegi empat dengan ukuran20 cm x 40 cm berikut ini:



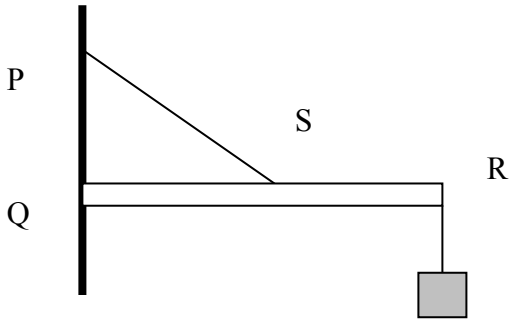
3. 

Balok M_1 = 2 kg, M_2 = 1 kg dihubungkan dengan tali melewati katrol berupa piringan tipis dengan massa katrol 1 kg dan radius 20 cm. Katrol dan tali tidak selip, system dilepas dari diam. Tentukan percepatan kedua balok dan energi kinetik katrol setelah bergerak dalam waktu 5 *s*.

M_1

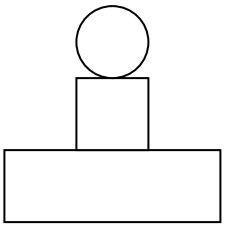
4. Seorang anak mengelindingkan pipa paralon dengan diameter 20 cm dan panjang 80 cm pada permukaan datar. Tentukan energi kinetik yang dimiliki paralon tersebut jika massa paralon 1,5 kg.

5. Dari system kesetimbangan berikut tentukan besar tegangan tali agar system dalam keadaan setimbang.



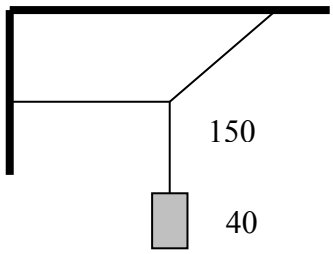
Batang QR = 120 cm dengan massa 4 kg, massa beban 10 kg dan sudut QPS = 45^o serta QS = 60 cm.

6. Seorang anak membuat model sebagai berikut:



Papan persegi 30 cm x 90 cm, papan bujur sangkar 30 cm x 30 cm dan papan lingkaran berdiameter 30 cm. Massa papan tersebut berturut-turut 4 kg, 3 kg dan 2 kg, tentukan titik berat model tersebut. Letakkan pusat koordinat di perpotongan diagonal papan bujur sangkar.

7. Dari sistem partikel berikut tentukan besarnya tegangan masing-masing tali.



8. Sebutkan syarat kesetimbangan (a). sistem partikel, (b). benda tegar.

9. Sebuah bola pejal dengan ragius 20 cm dan massa 4 kg dilepas dari keadaan diam di puncak bidang miring dengan ketinggian 60 cm dan sudut kemiringan 37^o terhadap horizontal. Tentukan percepatan linier dan energi kinetik dari bola ketika sampai di bidang datar dengan cara menggelinding. Selesaikan dengan menggunakan hukum kekekalan energi mekanik.

10. Tentukan momen inersia dari system partikel berikut m_1 = 2 kg (2,4); m_2 = 4 kg (4,-2); m_3 = 3 kg (3, 6), m_4 = 4 kg (0,-4) yang terhubung satu sama lain dengan penghubung kaku tak bermassa terhadap poros yang melewati pusat koordinat (0,0).

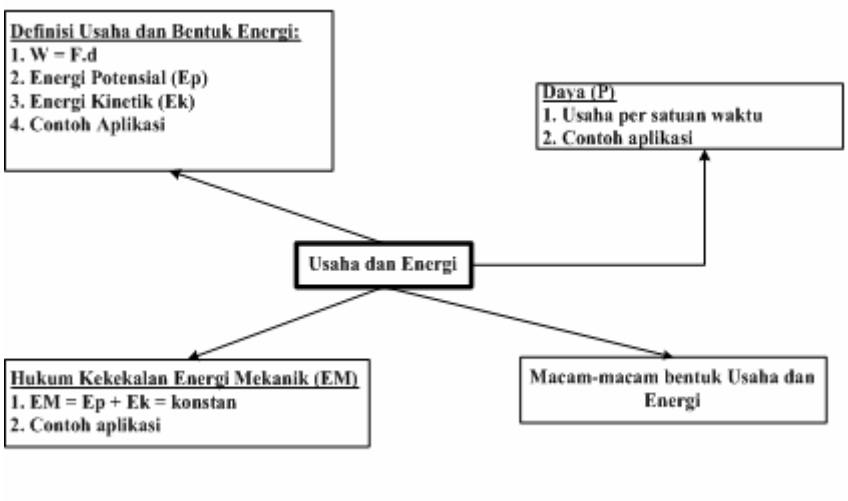
BAB 4
USAHA DAN ENERGI



Sumber: Serway dan Jewett, Physics for Scientists and Engineers, 6th edition, 2004

Energi merupakan konsep yang sangat penting, dan pemahaman terhadap energi merupakan salah satu tujuan pokok fisika. Sebagai gambaran akan pentingnya konsep energi, dengan mengetahui energi sistem, maka gerak sistem tersebut dapat ditentukan. Melalui bab ini Anda akan mempelajari usaha oleh gaya tetap. Pemahaman tentang energi kinetik, energi potensial, dan energi mekanik pada sebuah benda. Kaitan usaha yang dilakukan oleh gaya konservatif dengan perubahan energi kinetik dan energi potensial suatu sistem dan menerapkan kaitan tersebut. Kaitan usaha yang dilakukan oleh gaya nonkonservatif dengan perubahan energi kinetik dan energi potensial suatu sistem dan menerapkan kaitan tersebut. Hubungan antara usaha dan daya serta contoh pemakaiannya.

PETA KONSEP


Definisi Usaha dan Bentuk Energi:
1. W = F.d
2. Energi Potensial (Ep)
3. Energi Kinetik (Ek)
4. Contoh Aplikasi
Daya (P)
1. Usaha per satuan waktu
2. Contoh aplikasi
Usaha dan Energi
Hukum Kekekalan Energi Mekanik (EM)
1. EM = Ep + Ek = konstan
2. Contoh aplikasi
Macam-macam bentuk Usaha dan Energi

Prasyarat

Agar dapat mempelajari bab ini Anda harus memahami konsep kinematika, juga konsep gaya serta perhitungan matematisnya.

Cek Kemampuan

1. Apakah gaya sentripetal pada sebuah benda yang bergerak melakukan usaha pada benda itu? Jelaskan.
2. Apakah usaha total pada benda bergantung pada pemilihan kerangka acuan? Bagaimanakah pengaruh pemilihan ini terhadap prinsip usaha-energi?
3. Sebuah bidang miring memiliki ketinggian h. Sebuah benda bermassa m dilepas dari puncak bidang miring itu. Apakah kecepatan benda sesampainya di bagian bawah bidang miring tersebut bergantung pada sudut bidang miring, jika
    a. bidang miring licin
    b. bidang miring kasar
4. Seutas tali digunakan untuk menarik kotak melintasi lantai sejauh 20,0 m. Tali ditarik dengan sudut $37{,}0^0$ terhadap lantai, dan bekerja gaya sebesar 628 N. Berapakah usaha yang dilakukan gaya tersebut?
5. Motor listrik yang mempunyai daya 150 kW mengangkat benda setinggi 5,1 m dalam waktu 16,0 s. Berapakah gaya yang dikerahkan motor itu?
6. Seekor kera bermassa 6,0 kg berayun dari cabang sebuah pohon ke cabang lain lebih tinggi 1,2 m. Berapakah perubahan energi potensialnya?
7. Anak panah bermassa 100 gram dilepas dari busurnya, dan tali busur mendorong anak panah dengan gaya rerata sebesar 85 N sejauh 75 cm. Berapakah kelajuan anak panah itu saat meninggalkan tali busur tersebut?
8. Seorang pemain ski mula-mula diam, lalu mulai bergerak menuruni lereng miring 20^0 dengan horizontal sejauh 100 m.
    a. Jika koefisien gesek 0,090, berapakah kelajuan orang itu pada ujung bawah lereng itu?
    b. Jika salju pada bagian datar di kaki lereng itu memiliki koefisien gesek yang sama, berapa jauhkan pemain ski itu dapat meluncur sebelum akhirnya berhenti?

4.1 Usaha

Dalam kehidupan sehari-hari kata usaha mempunyai arti sangat luas, misalnya: usaha seorang anak untuk menjadi pandai, usaha

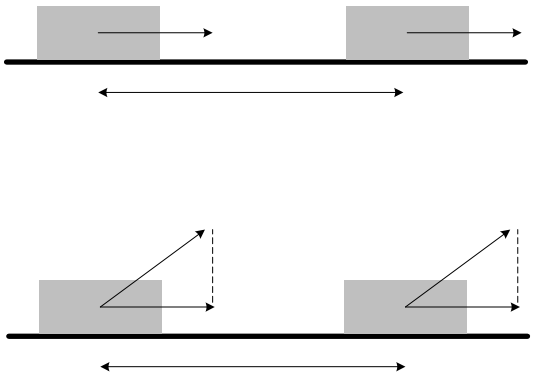
seorang pedagang untuk memperoleh laba yang banyak, usaha seorang montir untuk memperbaiki mesin dan sebagainya. Jadi dapat disimpulkan usaha adalah segala kegiatan yang dilakukan untuk mencapai tujuan.

Dalam ilmu fisika, usaha mempunyai arti, jika sebuah benda berpindah tempat sejauh ***d*** karena pengaruh ***F*** yang searah dengan perpindahannya (Gambar 4.1), maka usaha yang dilakukan sama dengan hasil kali antara gaya dan perpindahannya, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$W = F.d \tag{4.1}$$

Jika gaya yang bekerja membuat sudut α terhadap perpindahannya (Gambar 4.1), usaha yang dilakukan adalah hasil kali komponen gaya yang searah dengan perpindahan ($Fcos\ \alpha$) dikalikan dengan perpindahannya (d). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$W = F\cos\alpha.d \tag{4.2}$$



Gambar 4.1 Ilustrasi tentang definisi usaha (W) = gaya (F) dikalikan dengan perpidahan (d)

dengan:

W = usaha (joule)
F = gaya (N)

W = F.d

F

d = perpindahan (m)
α = sudut antara gaya dan perpindahan

SATUAN USAHA: 1 joule = 10^7 erg

Catatan:

- Usaha (*work*) disimbolkan dengan huruf besar *W*.
- Berat (*weight*) disimbolkan dengan huruf kecil *w*.

Jika ada beberapa gaya yang bekerja pada sebuah benda, maka usaha total yang diperoleh atau dilepaskan benda tersebut sebesar: Jumlah usaha yang dilakukan tiap gaya, atau usaha yang dilakukan oleh gaya resultan.

Contoh Soal 1:
Sebuah benda berada bidang datar, karena pengaruh gaya 140 N benda mengalami perpindahan sejauh 5 m, berapa usaha yang dilakukannya apabila:

a. Gaya mendatar
b. Gaya membuat sudut 60^0 terhadap bidang horisontal

Penyelesaian:
Diketahui:

F = 140 N; d = 5 m

Ditanyakan:

a. W (gaya mendatar) ...?
b. W (gaya membuat sudut 60^0 dengan bidang horisontal) ..?

Jawab:

a. $W = F.\ d$ = 140 N. 5 m = 700 N.m = 700 joule.
b. $W = F\cos\alpha.d$ = 140 N. Cos 60^0 .5 m = 140 N.0,5. 5 m = 350 joule.

Contoh Soal 2:

Gaya sebesar 40 N bekerja pada sebuah benda dan menyebabkan benda berpindah tempat sejauh 80 cm, jika usaha yang dilakukannya 25,6 joule. Berapakah sudut yang dibentuk gaya terhadap bidang?

Penyelesaian:

$W = F \cos\alpha . d$

25,6 joule = 40 N. cosα.0,8 m

Cosα = 25,6 joule/32 N.m = 0.8

$\alpha = \cos^{-1}(0,8) = 36,86^0 = 37^0$

(pembulatan 2 angka penting)

Contoh 3:

Benda berpindah tempat sejauh 6 meter karena pengaruh gaya tetap 15 N searah perpindahan, tentukanlah:

a. Grafik gaya (*F*) terhadap perpindahan (*d*)
b. Luas daerah yang dibatasi oleh kurva, sumbu *F* dan sumbu *d*
c. Usaha yang dilakukan gaya tersebut, kemudian bandingkan dengan jawaban soal b.

Penyelesaian:

a. Grafik gaya (*F*) terhadap perpindahan (*d*)



b. Daerah yang diarsir berbentuk empat persegi panjang, sehingga luasnya dapat dihitung dengan rumus:

Luas OPQR = OP.OR = 6 m.15 N = 90 joule.

c. $W = F.d$ = 15 N. 6 m = 90 joule. Dari data jawaban b dan jawaban c, dapat disimpulkan bahwa untuk mencari besarnya usaha dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

1. Dengan menghitung luas daerah yang terbentuk dari grafik gaya (F) terhadap perpindahan (d), sesuai dengan besar gaya (F) dan perpindahan (d) yang dialaminya.
2. Dengan rumus $W = F.d$.

4.2 Daya

Daya (P) adalah usaha yang dilakukan tiap satuan waktu, secara matematis didefinisikan sebagai berikut:

$$P = \frac{w}{t} \qquad (4.3)$$

dengan:

P = daya (watt)
W = usaha (joule)
t = waktu (s)

Daya termasuk besaran skalar yang dalam satuan MKS mempunyai satuan watt atau J/s

Satuan lain adalah:

1 hp = 1 DK = 1 PK = 746 watt

hp = Horse power; DK = daya kuda; PK = *Paarden Kracht*

1 Kwh adalah satuan energi yang setara dengan = $3,6 .10^6$ watt.detik = $3,6 . 10^6$ joule

Contoh Soal 3:

Sebuah mesin pengangkat mengangkat barang yang massanya 3 ton setinggi 10 meter selama 20 s. Berapa hp daya mesin itu (percepatan gravitas di tempat itu 10 m/s^2).

Penyelesaian:
Diketahui:

m = 3000 kg
h = 10 m
t = 20 s, g = 10 m/s^2

Ditanyakan: P ...?

Jawab:
Usaha yang diberikan mesin pengangkat digunakan untuk menambah energi potensial barang, sehingga berlaku:
W = mgh = 3000 kg. 10 m/s^2.10 m = 300.000 joule
P = W/t = 300.000 joule / 20 s = 15.000 watt
Ingat 1 hp = 746 watt, jadi 1 watt = 1/746 hp, maka 15.000 watt sama dengan 15.000 /746 = 20,11 hp.

4.3 Konsep Energi

Suatu sistem dikatakan mempunyai energi/tenaga, jika sistem tersebut mempunyai kemampuan untuk melakukan usaha. Besarnya energi suatu sistem sama dengan besarnya usaha yang mampu ditimbulkan oleh sistem tersebut. Oleh karena itu, satuan energi sama dengan satuan usaha dan energi juga merupakan besaran skalar (prinsip usaha-energi: usaha adalah transfer energi yang dilakukan oleh gaya-gaya yang bekerja pada benda).

Dalam fisika, energi dapat digolongkan menjadi beberapa macam antara lain:

a. Energi mekanik (energi kinetik + energi potensial)
b. Energi panas
c. Energi listrik
d. Energi kimia
e. Energi nuklir
f. Energi cahaya
g. Energi suara

Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan yang terjadi hanyalah transformasi/perubahan suatu bentuk energi ke bentuk lainnya, misalnya dari energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada air terjun.

4.3.1 Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh setiap benda yang bergerak. Energi kinetik suatu benda besarnya berbanding lurus dengan massa benda dan kuadrat kecepatannya.

$$Ek = \frac{1}{2}.m.v^2 \qquad (4.4)$$

dengan,

Ek = Energi kinetik (joule)
m = massa benda (kg)
v = kecepatan benda (m/s)

Usaha = perubahan energi kinetik.

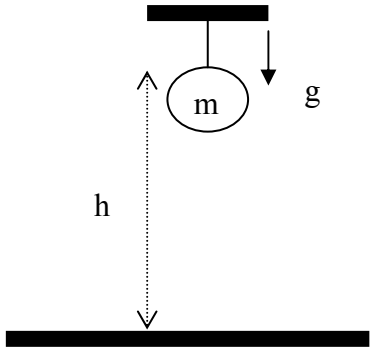
$$W = \Delta Ek = Ek_2 - Ek_1 \qquad (4.5)$$

Dari persamaan (4.5) usaha dari benda yang bergerak merupakan perubahan/ selisih energi kinetik akhir dengan energi kinetik awal benda yang bergerak.

4.3.2 Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena pengaruh tempatnya (kedudukannya). Energi potensial ini juga disebut energi diam, karena benda yang diam pun dapat memiliki energi potensial.

Sebuah benda bermassa m digantung seperti di bawah ini.



Gambar 4.2 Energi Potensial Gravitasi

Jika tiba-tiba tali penggantungnya putus, benda akan jatuh, sehingga dapat dikatakan benda melakukan usaha, karena adanya gaya berat (w) yang bekerja sejauh jarak tertentu, misalnya h. Besarnya

energi potensial benda sama dengan usaha yang sanggup dilakukan gaya beratnya selama jatuh menempuh jarak *h*.

$$Ep = w.h = m.g.h \qquad (4.6)$$

Dengan:

Ep = Energi potensial	(joule)
w = berat benda	(N)
m = massa benda	(kg)
g = percepatan gravitasi	(m/s^2)
h = tinggi benda	(m)

Energi potensial gravitasi tergantung dari : percepatan gravitasi bumi dan kedudukan benda , massa benda

4.3.3 Energi Potensial Pegas

Energi potensial yang dimiliki benda karena elastik pegas.

Gaya pegas (F) $= k.x$ (4.7)

Ep Pegas (Ep) $= ½\ k.\ x^2$ (4.8)

dengan:

k = konstanta gaya pegas

x = regangan

Hubungan usaha dengan Energi Potensial:

$$W = \Delta Ep = Ep_1 - Ep_2 \qquad (4.9)$$

4.4 Energi Mekanik

Energi mekanik (*Em*) adalah jumlah antara energi kinetik dan energi potensial suatu benda.

$$Em = Ek + Ep \qquad (4.10)$$

Karena energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan atau energi itu kekal, maka berlaku hukum Kekekalan Energi. Nila konteks yang dibahas adalah energi mekanik, maka berlaku Kekekalan Energi Mekanik yang dituliskan.

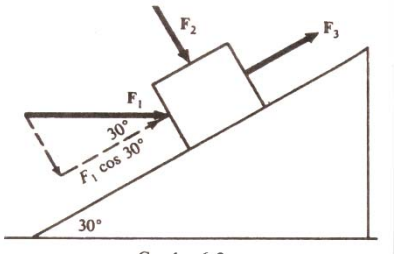
$$Em_1 = Em_2$$

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2 \qquad (4.11)$$

Contoh Soal 4:

Sebuah benda dengan berada pada bidang miring dengan sudut kemiringan 30^o bergerak ke atas karena mendapatkan beberapa gaya, tiga gaya di antaranya F_1 = 40 N mendatar; F_2 = 20 N tegak lurus bidang miring, F_3 = 30 N sejajar bidang miring. Hitunglah kerja yang dilakukan oleh masing-masing gaya bila benda berpindah sejauh 0,80 m ke atas.

Penyelesaian:



Kita mencari komponen F_1 yang sejajar arah perpindahan yaitu $F_1 \cos 30^o = 40.0{,}866 = 34{,}6$ *N*, maka kerja yang dilakukan F_1 adalah $F_1 \cos 30^o . S = 34{,}6 . 0{,}8 = 28$ *Joule*. Gaya F_2 tidak melakukan kerja karena gaya ini tegak lurus terhadap arah perpindahan. Kerja yang dilakukan oleh F_3 yang sejajar dengan arah perpindahan adalah $F_3.S = 30.0{,}8 = 24$ *Joule.*

Contoh Soal 5:

Sebuah benda bermassa 300 gr meluncur sepanjang 80 cm di atas meja horisontal. Berapakah kerja yang dilakukan pada benda tersebut oleh gaya gesekan yang diperoleh dari meja jika koefisien gesekan 0,2 pada benda tersebut?

Penyelesaian:

Pada benda yang bergerak di bidang datar gaya normal sama dengan gaya berat, maka gaya gesekan yang terjadi adalah $f = \mu.mg = 0{,}2. 0{,}300.9{,}8 = 0{,}588$ *N*

Kerja yang dilakukan gaya gesekan ini adalah $f \cos 180^o . S = 0{,}588 (-1).0{,}80 = -0{,}470$ *Joule* (tanda negatif menyatakan kerja oleh gaya gesekan mengurangi energi kinetik benda).

Contoh Soal 6:
Sebuah pegas dengan konstanta pegas 400 N/m, ditempatkan pada sebuah dinding, ujung pegas lain bebas di bidang datar yang licin. Jika sebuah benda bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan 10 m/s menumbuk ujung pegas tersebut, berapa pemendekan maksimum yang dapat ditekan oleh benda tersebut?

Penyelesaian:
Berlaku kekekalan energi mekanik,

$$E_K + E_{P\,(gravitasi)} + E_{P\,(pegas)} = E_P\,'_{(pegas)} + E_K' + E_{P(gravitasi)}'$$
$$\tfrac{1}{2}\,mv^2 + 0 + 0 = \tfrac{1}{2}\,kx^2 + 0 + 0$$

sehingga $x = v\sqrt{\frac{m}{k}} = 10\sqrt{\frac{2}{400}} = \tfrac{1}{2}\sqrt{2}$ m

4.5 Kerja oleh Gaya Konservatif dan oleh Gaya Non-Konservatif

Dalam pembahasan mekanika gerak, gaya yang bekerja pada suatu benda dibedakan menjadi dua jenis gaya yaitu ***gaya konservatif*** dan ***gaya non-konservatif***. ***Gaya konservatif*** adalah gaya yang tidak menyebabkan perubahan energi total yang dimiliki benda selama bergerak. Sedangkan ***gaya non konservatif*** adalah gaya yang menyebabkan terjadinya perubahan energi total yang dimiliki benda selama berpindah.

Tabel 4.1. *Contoh jenis gaya konservatif dan non konservatif.*

Gaya-gaya konservatif	Gaya-gaya non-konservatif
Gaya gravitasi Gaya elastisitas Gaya listrik	Gaya gesekan Gaya hambatan udara Gaya tegangan tali

Dari teorema kerja-energi, dimana sistem yang dibahas adalah bersifat konservatif yaitu: $W_{total} = \Delta E_K$. Apabila resultan gaya yang bekerja pada suatu benda adalah bersifat konservatif maka kerja yang ia lakukan dapat dinyatakan sebagai berkurangnya energi potensial, atau $\Delta E_K = -\Delta E_P$ sehingga $\Delta E_K + \Delta E_P = 0$.

Apabila sebagian dari gaya yang bekerja pada sistem adalah tidak koservatif, maka kerja yang dilakukan oleh gaya resultan adalah

total dari kerja yang dilakukan oleh gaya konservatif dan kerja yang dilakukan oleh gaya non konservatif. Hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W_{konservatif} + W_{nonkonservatif} = \Delta E_K$$

sedangkan, $W_{\text{konservatif}} = -\Delta E_P$

sehingga $W_{\text{non konservatif}} = \Delta E_K + \Delta E_P = \Delta(E_K + E_P)$

$= \Delta E$ (4.12)

Hal ini berarti energi mekanik total yang dimiliki sistem, *E*, tidak konstan akan tetapi berubah terhadap kerja yang dilakukan oleh gaya non-konservatif pada sistem.

Contoh Soal 7:

Sebuah benda 0,5 kg bergeser di atas meja dengan kecepatan awal 0,2 m/s dan setelah menempuh 0,70 m benda berhenti. Berapakah gaya gesek yang dialaminya (anggaplah konstan).

Penyelesaian:

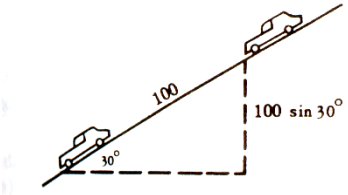
Energi kinetik benda berkurang karena terjadi perlambatan oleh gaya gesekan, berarti perubahan energi kinetik dari benda = kerja yang dilakukan oleh gaya gesekan pada benda, ½ m (v^2- v_o^2) = f cos θ.d, karena gaya gesekan berlawanan dengan arah gerak maka θ = 180°, maka kita peroleh:

0 – ½ .0,5.0,2 = f.(-1).0,7, jadi f = 0,0143 N.

Contoh Soal 8:

Mobil bermassa 1200 kg bergerak meluncur pada bidang miring dengan kemiringan 30° seperti gambar. Pada saat mobil berkecepatan 12 m/s, sopir mulai menginjak rem. Berapakah besar gaya rem *F* (yang tetap dan berarah sejajar permukaan miring) agar mobil dapat berhenti dalam jarak 100 m?

Penyelesaian:



Perubahan energi mekanik total dari mobil sama dengan kerja yang dilakukan gaya rem terhadap mobil sehingga kita peroleh:

$\frac{1}{2} m(v^2 - v_o^2) + mg\,(h - h_o) = F\,(-1).\ S$

$\frac{1}{2} .1200\,(0 - 12^2) + 1200.9{,}8\,(100 \sin 30^o) = F\,(-1).\ 100;$

jadi $F = 6{,}7\ kN$.

4.6 Kegiatan

Kegiatan 1: Pembuktian Hukum Kekekalan Energi Mekanik

A. Bahan:

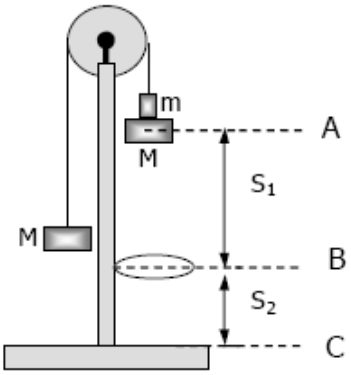
a. Rancang mesin *ad-wood* sederhana (lihat gambar)
b. Satu set massa pembebanan
c. Meteran
d. Timbangan
e. Benang nilon

B. Langkah kerja:

1. Menimbang beban M dan beban penambah m
2. Mengukur dan menandai S1 dan S2.
3. Beban dilepas dari A stop watch 1 dihidupkan, ketika beban mencapai B stop watch 2 dihidupkan secara bersamaan stop watch 1 dimatikan, dan setelah posisi mencapai C stop watch 2 dimatikan.
4. Ulangi langkah 1-3 minimal 3 kali
5. Masukan data kedalam tabel pengamatan

Pengamatan Ke-	m	M	S_1	S_2	t_1	t_2
1						
2						
3						
4						
5						

6. Hitung energi mekanik pada titik A , B dan C untuk tiap beban.
7. Buatlah grafik energi mekanik terhadap S posisi dan grafik energi mekanik terhadap kecepatan v.
8. Bandingkan hasil pada poin 6.



Kegiatan 2**:** Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi efisiensi bidang miring?

A. **Identifikasikan** faktor-faktor yang mungkin berpengaruh terhadap efisiensi bidang miring.
B. **Rumuskan hipotesis** yang menggambarkan bagaimana pengaruh factor yang Anda identifikasi pada langkah 1 terhadap efisiensi bidang miring.
C. **Rancanglah eksperimen** untuk menguji hipotesis Anda.
D. **Lakukan eksperimen** sesuai yang Anda rencanakan.

Analisis

Faktor-faktorapa saja yangmempengaruhi efisiensi bidang miring?

4.7 Rangkuman

1. Usaha merupakan sesuatu yang dilakukan oleh gaya pada sebuah benda yang menyebabkan benda mengalami perpindahan atau bergerak.
2. Daya (*P*) adalah usaha yang dilakukan tiap satuan waktu.
3. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh setiap benda yang bergerak.
4. Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena pengaruh tempatnya (kedudukannya).
5. Energi mekanik (*Em*) adalah jumlah antara energi kinetik dan energi potensial suatu benda.

4.8 Soal Uji Kompetensi

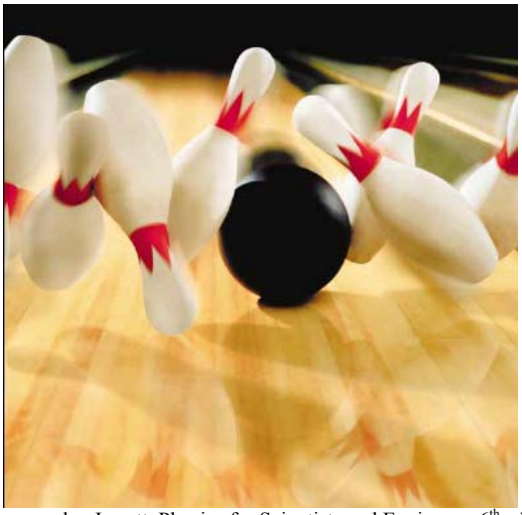
1. Sebuah benda meluncur di atas papan kasar sejauh 5 m, mendapat perlawanan gesekan dengan papan sebesar 180 newton. Berapa besarnya usaha dilakukan oleh gaya gesek pada benda itu?.
2. Sebuah gaya yang besarnya 60 newton bekerja pada sebuah benda. Arah gaya membentuk sudut 30^o dengan bidang horisontal. Jika benda berpindah sejauh 50 m, berapa besarnya usaha?
3. Sebuah gaya yang besarnya 60 newton menyebabkan benda yang massanya 15 kg berpindah horisontal sejauh 10 m. Berapa besarnya usaha dan besarnya perubahan energi potensial. (g = 10 m/s^2)
4. Berapa besar usaha oleh gaya penarik jika sebuah elevator yang beratnya 2000 N dinaikkan setinggi 80 m? Berapa besar energi potensial elevator setelah dinaikkan hingga setinggi itu?
5. Berapa besar usaha untuk menaikkan benda bermassa 2 kg setinggi 1,5 m di atas lantai? Berapa besar energi potensial benda pada kedudukan itu? (g = 10 m/s^2)
6. Berapa besar gaya diperlukan untuk menahan 2 kg benda, tetap 1,5 m di atas lantai dan berapa besar usaha untuk menhan benda tersebut selama 5 detik (g = 10 m/s^2)
7. Untuk menaikkan kedudukan benda yang massanya 200 kg ke tempat x meter lebih tinggi, diperlukan kerja sebesar 10.000 joule. Berapa x ? (g = 9,8 m/s^2)
8. Berapa besar energi kinetik suatu benda yang bergerak dengan kecepatan 20 m/s, jika massa benda 1000 kg?
9. Benda bermassa 1 kg mempunyai energi kinetik besarnya 1 joule berapa kecepatan benda?
10. Sebuah benda yang massanya 2 kg (g = 10 m/s^2) jatuh dari ketinggian 4 m di ats tanah. Hitung besar energi potensial benda dalam joule dan dalam erg.
11. Sebuah benda bermassa 5 kg, jatuh dari ketinggian 3 m di atas tanah (g = 10 m/s^2) Berapa energi kinetik benda pada saat mencapai tanah?
12. Sebuah benda bermassa m kg bergerak di atas papan kasar dengan kecepatan 10 m/s. Jika besarnya koefisien gesekan 0,25. Hitunglah waktu dan jarak yang ditempuh benda setelah benda berhenti (g = 10 m/s^2)
13. Sebuah bom yang massanya m kg akan ditembakkan dengan kecepatan 600 m/s oleh meriam yang panjangnya 6 m. Berapa

besar gaya minimum yang diperlukan untuk menembakkan peluru sehingga keluar dari moncong meriam dengan kecepatan tersebut?

14. Sebuah gaya sebesar 80 newton bekerja pada benda bermassa $50\sqrt{3}$ kg. Arah gaya membentuk sudut 30^o dengan horisontal. Hitung kecepatan benda setelah berpindah sejauh 10 m.
15. Sebuah benda dengan berat *w* Newton ($g = 10\ m/s^2$) mula-mula dalam keadaan diam. Gaya besarnya 10 newton bekerja pada benda selama 5 detik. Jika gaya telah melakukan usaha sebesar 2500 joule, berapa w dan berapa besarnya daya dalam watt dan HP.
16. Sebuah benda bermassa 2 kg sedang bergerak. Berapa besar usaha untuk:
    - menaikkan kecepatan benda dari 2 m/s menjadi 5 m/s
    - Menghentikan gerak benda bila kecepatannya saat itu 8 m/s ($g = 10\ m/s^2$)
17. Sebuah kereta api dengan berat 196.000 newton bergerak dengan kecepatan 54 km/jam. Kereta api itu dihentikan oleh rem yang menghasilkan gaya gesek besarnya 6000 newton. Berapa besar usaha gaya gesek dan berapa jarak ditempuh kereta api selama rem, bekerja ($g = 10\ m/s^2$)
18. Sebuah batu bermassa 0,2 kg ($g = 10\ m/s^2$) dilemparkan vertikal ke bawah dari ketinggian 25 m dan dengan kecepatan awal 15 m/s. Berapa energi kinetik dan energi potensial 1 detik setelah bergerak?
19. Di dalam suatu senapan angin terdapat sebuah pegas dengan konstanta pegas 25.000 dyne/cm. Ketika peluru dimasukkan, per memendek sebanyak 2 cm. Hitunglah berapa kecepatan peluru ketika keluar dari senapan itu. Gesekan peluru dengan dinding senapan diabaikan, massa peluru 5 gram.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

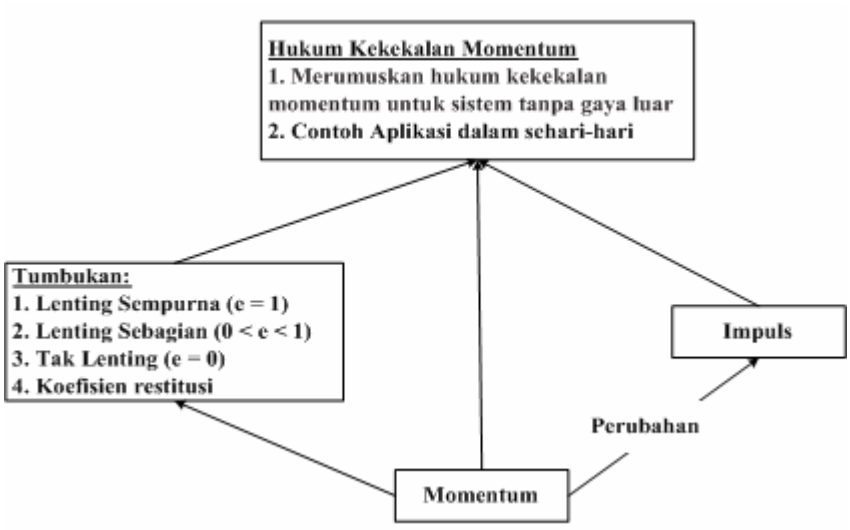
BAB 5
MOMENTUM DAN IMPULS



Sumber: Serway dan Jewett, Physics for Scientists and Engineers, 6th edition, 2004

Gambar di atas adalah salah satu contoh peristiwa dari konsep momentum dan impuls. Masih banyak lagi disekitar kita tentang peristiwa yang menggambar kan peristiwa tersebut. Momentum adalah ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda yang sedang bergerak. Makin sukar memberhentikan benda, makin besar momentumnya. Kesukaran memberhentikan suatu benda bergantung pada massa dan kecepatan. Sedangkan impuls berkaitan dengan perubahan momentum. Impuls juga didefinisikan sebagai hasil kali gaya dengan selang waktu singkat bekerjanya gaya pada benda. Konsep momentum ini penting karena konsep ini juga menunjukkan kekekalan, seperti halnya kekekalan energi mekanik. Konsep kekekalan momentum dan impuls dapat membantu kita untuk menjelaskan massalah keseharian dan teknologi. Kejadian yang berkaitan dengan peristiwa tumbukan dapat dijelaskan dengan hokum kekekalan momentum dan impuls. Ada tiga jenis tumbukan berdasarkan elastisitasnya (kelentingannya), yaitu tumbukan lenting sempurna, tak lenting sama sekali dan lenting sebagian.

PETA KONSEP


Hukum Kekekalan Momentum
1. Merumuskan hukum kekekalan momentum untuk sistem tanpa gaya luar
2. Contoh Aplikasi dalam sehari-hari
Tumbukan:
1. Lenting Sempurna (e = 1)
2. Lenting Sebagian (0 < e < 1)
3. Tak Lenting (e = 0)
4. Koefisien restitusi
Impuls
Perubahan
Momentum

Prasyarat

Agar dapat mempelajari bab ini anda harus telah menguasai vektor, materi gerak dan gaya, dan materi usaha dan energi. Materi gerak meliputi gerak lurus dan gerak lengkung, yaitu gerak parabola dan gerak melingkar. Selain gaya yang berkaitan dengan hukum-hukum Newton, anda harus menguasai juga gaya gesek.

Cek Kemampuan

1. Jelaskan yang anda ketahui tentang:
    a. Momentum
    b. Impuls
    c. Hukum kekekalan momentum
    d. Tumbukan lenting sempurna
    e. Tumbukan tak lenting sama sekali
    f. Tumbukan lenting sebagain
    g. Koefisien restitusi
2. Dua buah benda memiliki energi kinetik sama, tetapi massanya berbeda. Apakah momentum kedua benda tersebut sama ? Jelaskan jawaban anda!
3. Momentum adalah besaran vektor. Apakah pernyataan tersebut benar ? Berikan alasan jawaban anda.
4. Seorang tentara menembak dengan senjata laras panjang. Mengapa tentara tersebut meletakkan gagang senjata pada bahunya? Berikan penjelasan anda berkaitan dengan impuls dan momentum.
5. Anda bersepeda motor dengan kelajuan tinggi, tiba-tiba sepeda motor berhenti mendadak dan anda terpelanting melampaui setir. Mengapa anda dapat terpelanting melampaui setir?
6. Dua buah benda terbuat dari bahan yang mudah melekat dan massa kedua benda sama, bergerak saling berlawanan arah dengan kelajuan sama dan bertumbukan. Sesaat setelah tumbukan kedua benda saling melekat dan kemudian berhenti. Apakah jumlah momentum kedua benda kekal, sebelum dan sesudah tumbukan? Bagaimana dengan energi kinetiknya?

5.1 Pengertian Momentum Dan Impuls

Setiap benda yang bergerak mempunyai momentum. **Momentum** adalah hasil kali antara massa dan kecepatan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = m.v \qquad (5.1)$$

dengan:

P = momentum (kg.m/s)
m = massa (kg)
v = kecepatan (m/s)

Contoh Soal 1:
Sebuah truk bermassa 3 ton bergerak dengan kecepatan tetap 20 m/s. Berapakah momentum yang dimilikinya?

Penyelesaian:
Dengan menggunkan persamaan (5.1), maka kita mendapatkan besarnya momentum truk tersebut sebesar → $P = mv$ = 30.000 kg.20 m/s = 600.000 kg.m/s = 6.10^5 kg.m/s.

Dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemui peristiwa-peristiwa seperti bola ditendang, bola tenis dipukul. Pada peristiwa itu, gaya yang bekerja pada benda hanya sesaat saja, inilah yang disebut sebagai **impuls.** Secara matamatis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = F.\Delta t \qquad (5.2)$$

dengan:

I = impuls (N.s)
F = gaya (N)
Δt = selang waktu (s)

Contoh Soal 2:
Sebuah bola dipukul dengan gaya sebesar 45 N, jika gaya itu bekerja pada bola hanya dalam waktu 0.1 s. Berapakah besarnya impuls pada bola tersebut?

Penyelesaian:
Dengan menggunakan persamaan (5.2), maka kita dapatkan besarnya impuls dalam persoalan ini yaitu sebesar:

$I = F. \Delta t$ = 45 N.0,1s = 4,5 N.s

5.2 Impuls sebagai perubahan Momentum

Suatu benda yang bermassa m bekerja gaya F yang konstan, maka setelah waktu Δt benda tersebut bergerak dengan kecepatan :

$$v_t = v_0 + a.\Delta t \qquad (5.3)$$

Menurut Hukum II Newton:

$$F = m.a \qquad (5.4)$$

Dengan mensubtitusi Persamaan (5.4) ke Persamaan (5.3), maka diperoleh:

$$v_t = v_0 + \frac{F}{m}.\Delta t \qquad (5.5)$$

$$F.\Delta t = mv_t - mv_0 \qquad (5.6)$$

dengan:

$m.v_t$ = momentum benda pada saat kecepatan *vt*

$m.v_0$ = *momentum benda pada saat kecepatan vo*

Kesimpulan:

Momentum ialah: Hasil kali massa sebuah benda dengan kecepatan . Momentum merupakan besaran vektor yang arahnya searah dengan kecepatannya. Satuan dari mementum adalah kg m/s atau gram cm/s

Impuls adalah: Hasil kali gaya dengan waktu yang ditempuhnya. Impuls merupakan Besaran vektor yang arahnya searah dengan arah gayanya.

Perubahan momentum adalah akibat adanya impuls dan nilainya sama dengan impuls.

IMPULS = PERUBAHAN MOMENTUM

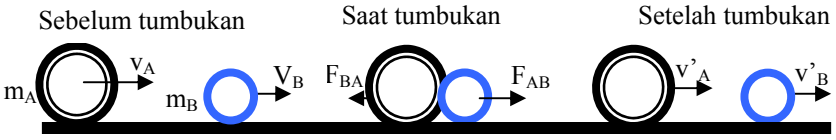
Contoh Soal 3:

Sebuah bola golf mula-mula diam, kemudian dipukul hingga kecepatanya menjadi 8 m/s. Jika massa bola 150 gram dan lamanya waktu stick bersentuhan dengan bola 0,02 s. Berpakah besarnya gaya yang mendorong bola tersebut?

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan 5.6, maka besarnya gaya dapat diperoleh yaitu: $F = \frac{mv_t - mv_0}{\Delta t} = \frac{0.15\,kg(8-0)}{0.02\,s} = \frac{1.2\,kg.m/s}{0.02\,s} = 60\,N$

5.3 Hukum Kekekalan Momentum



Gambar 5.1 Benda A dan Benda B Sebelum, saat dan setelah tumbukan

Pada Gambar 5.1, misalkan benda A dan B masing-masing mempunyai massa m_A dan m_B dan masing-masing bergerak segaris dengn kecepatan v_A dan v_B sedangkan $v_A > v_B$. Setelah tumbukan kecepatan benda berubah menjadi v'_A dan v'_B. Bila F_{BA} adalah gaya dari A yang dipakai untuk menumbuk B dan F_{AB} gaya dari B yang dipakai untuk menumbuk A, maka menurut Hukum III Newton:

$$F_{AB} = -F_{BA} \qquad (5.7)$$

$$F_{AB}.\Delta t = -F_{BA}.\Delta t$$

$$impuls_A = impuls_B$$

$$m_A v'_A - m_A v_A = -(m_B v'_B - m_B v_B)$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \qquad (5.8)$$

Jumlah momentum dari A dan B sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama/tetap. Keadaan ini disebut sebagai **Hukum Kekekalan Momentum Linier.**

Contoh Soal 4:
Sebuah peluru massa 5 gram ditembakkan dari senapan dengan kecepatan 200 m/s, jika massa senapan 4 kg. Berapakah laju senapan?

Penyelesian:
Mula-mula peluru dan senapan diam, jadi:

$v_s = v_p = 0$

sehingga,

$m_s v_s + m_p v_p = m_s v_s' + m_p v_s'$

$0 = 4. v_s' + 0{,}005$ kg.200 m/s

$v_s' = -0{,}25$ m/s

Kecepatan senapan pada saat peluru ditembakan 0,25 m/s, tanda (-) menyatakan arahnya kebelakang/tertolak.

Contoh Soal 5:
Dua orang nelayan massanya sama 60 kg berada di atas perahu yang sedang melaju dengan kecepatan 5 m/s, karena mengantuk seoramg nelayan yang ada diburitan terjatuh, jika massa perahu 180 kg. Berapakah kecepatan perahu sekarang?

Penyelesaian:
Momentum mula-mula (perahu dan nelayan):

$P_1 = (2m_o + m_p).v_p = (2.60 \text{ kg} + 180 \text{ kg}).5 \text{ m/s} = 1500 \text{ kg.m/s}$

Momentum setelah seorang nelayan terjatuh:

$P_2 = (m_o + m_p).v'_p = (60 \text{ kg} + 180 \text{ kg}).\ v'_p = 240 \text{ kg}.\ v'_p$

Sehingga menurut hukum kekekalan mementum, maka $P_1 = P_2$.

$150 \text{ kg.m/s} = 240 \text{ kg}.\ v'_p$

$v'_p = 6{,}25$ m/s

5.4 Tumbukan

Pada setiap jenis tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum tetapi tidak selalu berlaku hukum kekekalan energi mekanik, sebab sebagian energi mungkin diubah menjadi energi bentuk lain, misalnya panas atau bunyi, akibat tumbukan atau terjadi perubahan bentuk benda.

Besarnya koefisien restitusi *(e)* untuk semua jenis tumbukan berlaku :

$$e = -\frac{v'_A - v'_B}{v_A - v_B} \qquad (5.9)$$

dengan:

v'_A; v'_B= kecepatan benda A dan B setelah tumbukan

v_A ; v_B = kecepatan benda A dan B sebelum tumbukan

Macam tumbukan yaitu:

1. Tumbukan elastis sempurna, yaitu tumbukan yang tak mengalami perubahan energi. Koefisien restitusi $e = 1$, berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi mekanik (kerena pada kedudukan/posisi sama, maka yang diperhitungkan hanya energi kinetiknya)
2. Tumbukan elastis sebagian, yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik sebab ada sebagian energi yang diubah dalam bentuk lain, misalnya panas. Koefisien restitusi $0 < e < 1$.
3. Tumbukan tidak elastis , yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik dan kedua benda setelah tumbukan melekat dan bergerak bersama-sama. Koefisien restitusi $e = 0$

Energi yang hilang setelah tumbukan dirumuskan:

$$E_{hilang} = \Sigma_{Eksebelum\ tumbukan} - \Sigma Ek_{sesudah\ tumbukan}$$

$$E_{hilang} = \{ \tfrac{1}{2} m_A v_A^2 + \tfrac{1}{2} m_B v_B^2 \} - \{ \tfrac{1}{2} m_A (v_A')^2 + \tfrac{1}{2} m_B (v_B')^2 \}$$

Tumbukan yang terjadi jika bola dijatuhkan dari ketinggian h meter dari atas lanmtai. Kecepatan bola waktu menumbuk lantai dapat dicari dengan persamaan :

$v_A = \sqrt{2gh}$

Kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan adalah 0.

$v_B = v_B' = 0$

Dengan memsukkan persamaan tumbukan elastis sebagian :

$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$$

diperoleh :

$$e = -\frac{v_A' - 0}{v_A - 0} = \frac{v_A'}{v_A}$$

sehingga diperoleh : $e = \sqrt{\frac{h'}{h}}$

dengan:

h' = tinggi pantulan

h = tinggi bola jatuh.

Contoh Soal 6:

Dua bola dengan massa identik mendekati titik asal koordinat; yang satu sepanjang sumbu +y dengan kecepatan 2 m/s dan yang kedua sepanjang sumbu –x dengan kecepatan 3 m/s. Setelah tumbukan satu bola bergerak keluar sepanjang sumbu +x dengan kecepatan 1,20 m/s. Berapakah komponen-komponen kecepatan dari bola lainnya?

Penyelesaian:

Pada tumbukan berlaku kekekalan momentum sehingga :

- ***Pada sumbu x berlaku:*** $\mathbf{m_1v_{1x} + m_2v_{2x} = m_1v_{1x}' + m_2v_{2x}'}$

  $\mathbf{m(3) + 0 = m(1{,}2) + mv_{2x}'}$

  $\mathbf{v_{2x}' = 1{,}8\ m/s}$

- ***Pada sumbu y berlaku:*** $\mathbf{m_1v_{1y} + m_2v_{2y} = m_1v_{1y}' + m_2v_{2y}'}$

  $\mathbf{0 + m(-2) = 0 + mv_{2y}'}$

  $\mathbf{v_{2y}' = -2\ m/s}$

Jadi, bola kedua bergerak dengan kecepatan 1,8 m/s pada sumbu-x dan -2,0 m/s pada sumbu-y.

Contoh Soal 7:

Sebuah batu 2 kg bergerak dengan kecepatan 6 m/s. Hitunglah gaya* F *yang dapat menghentikan batu itu dalam waktu 7.10^{-4} detik.
Penyelesaian:

***Impuls* = F.t = m (v – v_o)**
F. *(7.10^{-4}) = 2 (0 – 6) ; jadi* F = - *$1,71.10^4$ Newton.*

Contoh Soal 8:
Dua orang gadis (*m_1 *dan* m_2*) berada di atas sepatu roda dan dalam keadaan diam, saling berdekatan dan berhadapan muka. Gadis 1 mendorong tepat pada gadis 2 dan menjatuhkannya dengan kecepatan* v_2*. Misalkan gadis-gadis itu bergerak bebas di atas sepatu roda mereka, dengan kecepatan berapakah gadis 1 bergerak?

Penyelesaian:
Kita ambil kedua gadis mencakupi sistem yang ditinjau. Tidak ada gaya resultan dari luar pada sistem (dorongan dari gadis terhadap yang lain adalah gaya internal) dan dengan demikian momentum dikekalkan.
***Momentum sebelum = momentum sesudah, sehingga* 0 = m_1v_1' + m_2v_2'**

Jadi $v_1' = -\frac{m_2}{m_1} v_2'$***, gadis 1 bergerak mundur dengan kecepatan ini.***

5.5 Kegiatan

Tujuan: mengamati jenis tumbukan
Langkah kerja:

1. Ambil benda sebanyak mungkin yang ada disekitar anda.
2. Jatuhkan dari ketinggian tertentu. Pilih ketinggian yang sama untuk tiap benda.
3. Amati pantulan yang terjadi, kemudian catat dan masukan dalam tabel berikut:

No	Jenis Benda	Lenting Sempurna	Lenting Sebagian	Tak lenting

Tugas 1:

A. Bahan : benang, bandul, malam
B. Alat : neraca analitis, penggaris 1m, 2 buah statif
C. Langkah Kerja:
    1. Ikat bandung dengan benang dan gantungkan pada statif, ikat penggaris pada statif yang lain. Letakkan kedua statif di atas meja dengan jarak kira-kira sama dengan panjang tali.
    2. Lempar bandul dengan malam, sehingga terjadi ayunan, usahakan malam dapat menempel pada bandul. Ukur tinggi bandul berayun.
    3. Timbang massa bandul dan massa malam.
    4. Tentukan kecepatan bandul dan malam saat mulai berayun. Tentukan pula kecepatan malam saat menumbuk bandul.

5.6 Rangkuman

1. Momentum merupakan hasil kali massa sebuah benda dengan kecepatan. Momentum merupakan besaran vektor yang arahnya searah dengan kecepatannya.
2. Impuls merupakan perubahan momentum yaitu hasil kali gaya dengan waktu yang ditempuhnya. Impuls merupakan Besaran vektor yang arahnya se arah dengan arah gayanya.
3. Macam-macam tumbukan:
    a. Lenting sempurna, $e = 1$
    b. Lenting sebagian, $0 < e < 1$
    c. Tak lenting, $e = 0$
4. Hukum kekekalan momentum: momentum awal = momentum akhir

5.7 Soal Uji Kompetensi

1. Seorang pemain bisbol akan memukul bola yang datang padanya dengan massa 2 kg dengan kecepatan 10 m/s, bola bersentuhan dengan pemukul dalam waktu 0,01 detik sehingga bola berbalik arah dengan kecepatan 15 m/s.

a. Carilah besar momentum awal
b. Carilah besar momentum akhir
c. Carilah besar perubahan momentumnya.
d. Carilah besar impulsnya.
e. Carilah besar gaya yang dialamibola.

2. Dua buah benda bermassa 5 kg dan 12 kg bergerak dengan kecepatan masing-masing 12 m/s dan 5 m/s pada arah berlawanan. Jika keduanya bertumbukan sentral, hitunglah:
   a. Kecepatan masing-masing benda sesudah tumbukan dan hilangnya energi jika tumbukannya elastis sempurna.
   b. Kecepatan masing-masing benda sesudah tumbukan dan energi yang hilang jika tumbukannya tidak elastis sama sekali.

3. Sebuah perahu sekoci bermassa 200 kg bergerak dengan kecepatan 2 m/s. dalam perahu tersebut terdapat orang dengan massa 50 kg. Tiba-tiba orang tersebut meloncat dengan kecepatan 6 m/s. Hitunglah kecepatan sekoci sesaat (setelah orang meloncat)
   jika : a. arah loncatan berlawanan dengan arah sekoci.
   b. arah loncatan searah dengan arah perahu.

4. Sebuah benda jatuh di atas tanah dari ketinggian 9 m. Ternyata benda terpantul setinggi 1 meter. Hitunglah:
   a. Koefisien kelentingan.
   b. Kecepatan pantulan benda.
   c. Tinggi pantulan setelah pantulan ketiga.

5. Sebuah peluru dari 0,03 kg ditembakkan dengan kelajuan 600 m/s diarahkan ppada sepotong kayu yang massanya 3,57 kg yang digantung pada seutas tali. Peluru mengeram dalam kayu, hitunglah kecepatan kayu sesaat setelah tumbukan ?

6. Bola seberat 5 newton bergerak dengan kelajuan 3 m/s dan menumbuk sentral bola lain yang beratnya 10 N dan bergerak berlawanan arah dengan kecepatan 6 m/s. Hitunglah kelajuan masing-masing bola sesudah tumbukan, bila:
   a. koefisien restitusinya 1/3
   b. tumbukan tidak lenting sama sekali
   c. tumbukan lenting sempurna.

7. Sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian 1½ m di atas sebuah lantai lalu memantul setinggi 0,9 m. Hitunglah koefisien restitusi antara bola dan lantai

8. Sebuah truk dengan berat 60.000 newton bergerak ke arah utara dengan kecepatan 8 m/s bertumbukan dengan truk lain yang bermassa 4 ton dan bergerak ke Barat dengan kecepatan 22 m/s. Kedua truk menyatu dan bergerak bersama-sama. Tentukan besar dan arah kecepatan truk setelah tumbukan.

9. Dua buah benda A dan B yang masing-masing massanya 20 kg dan 40 kg bergerak segaris lurus saling mendekati. A bergerak dengan kecepatan 10 m/s dan B bergerak engan kecepatan 4 m/s. Kedua benda kemudian bertumbukan sentral. Hitunglah energi kinetik yang hilang jika sifat tumbukan tidak lenting sama sekali.

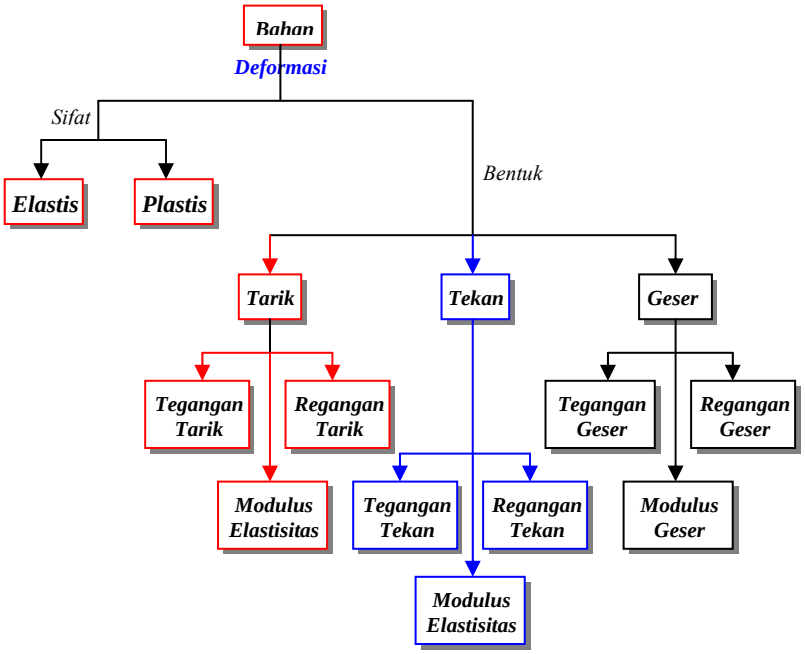
10. Sebuah peluru massanya 20 gram ditembakkan pada ayunan balistik yang massanya 5 kg, sehingga ayunan naik 0,2 cm setelah umbukan. Peluru mengeram di dalam ayunan. Hitunglah energi yang hilang.

BAB 6
SIFAT MEKANIK BAHAN



Bahan-bahan terdapat disekitar kita dan telah menjadi bagian dari kebudayaan dan pola berfikir manusia. Bahan telah menyatu dengan peradaban manusia, sehingga manusia mengenal peradaban, yaitu zaman batu, zaman perunggu dan zaman besi. Bahan diambil dari alam dan diproses menjadi bentuk tertentu, seperti cangkul, pisau, dan lain-lain untuk membantu kehidupan manusia. Bahan-bahan ini memang telah menyatu dengan kehidupan manusia dan tidak saja merupakan bagian gaya hidup melainkan turut memegang peran penting dalam kesejahteraan dan keselamatan bangsa.

Peta Konsep



Pra Syarat

Tidak ada prasyarat yang harus dipenuhi untuk dapat mempelajari sifat mekanik bahan

Cek Kemampuan

1. Hitung tegangan mana yang lebih besar dalam (a) Batang aluminium berukuran 24,6 mm x 30,7 mm, dengan beban 7640 kg, (b) Batang baja berdiameter 12,8 mm dengan beban 500 kg
2. Suatu batang tembaga panjangnya 50 mm. Jika batang tersebut dikenai tegangan tarik sehingga panjangnya menjadi 59 mm, berapa regangan yang terjadi pada batang tersebut
3. Modulus elastisitas baja rata-rata sama dengan 205.000 MPa, berapa regangan kawat berdiameter 2,5 mm dan pajangnya 3 m bila diberi beban 500 kg

4. Tegangan sepotong batang tembaga tidak boleh melebihi 70 MPa. Berapakah diameter batang bila dikenai beban 2000 kg?
5. Tentukan regangan elastis batang tembaga yang bertegangan 70 MPa (datanya dilihat pada Tabel 6.1)
6. Batang baja berdiameter 12,7 mm dibebani 7000 kg. (a) tentukan tegangan dalam (b) batang bila batang mempunyai modulus elastisitas sebesar 205.000 MPa, berapa regangan batang ? (c) Jika batang mengalami beban maksimum 11.800 kg tanpa deformasi plastis, berapa kekuatan tariknya

6.1. Sifat Mekanik Bahan

Apakah hakekatnya bahan itu? Bagaimana memahami, mengolah dan menggunakannya? Bahan, dengan sendirinya merupakan bagian dari alam semesta, akan tetapi secara lebih rinci *bahan adalah benda dengan sifat-sifatnya yang khas dimanfaatkan dalam bangunan, mesin, peralatan atau produk.* Termasuk di dalamnya, logam, keramik, polimer (plastik), serat, gelas, kayu, batu, pasir, dan lain - lain. Produksi dan pemrosesan bahan-bahan tersebut menjadi barang jadi memberikan kesempatan kerja bagi kira-kira 12% dari seluruh angkatan kerja di Indonesia

Bahan-bahan yang digunakan manusia mengikuti *siklus bahan* mulai dari ekstraksi, pembuatan sampai pelapukan. Oleh karena itu, siklus bahan adalah suatu sistem yang menggiatkan sumber daya alam dengan kebutuhan manusia. Secara keseluruhan, bahan-bahan merupakan jaringan yang mengikat bangsa-bangsa dan tata ekonomi di dunia satu sama lainnya, demikian pula mengikat manusia dengan alam semesta. Secara singkat, *Ilmu dan teknologi bahan meliputi pengembangan dan penerapan pengetahuan mengenai hubungan antara komposisi, struktur dan pemerosesan bahan dengan sifat-sifat dan pemakaiannya.* **Gambar 6.1** menunjukkan kaitan antara struktur, sifat, proses, fungsi dan unjuk kerja bahan.



Gambar 6.1. Gambaran unsur inti dan teknologi bahan dan kaitannya
dengan ilmu pengetahuan ilmiah dan empiris

Ilmu dan teknologi bahan adalah suatu pita ilmu pengetahuan yang melintang dari ilmu dan penelitian dasar (sebelah kiri) sampai pada kebutuhan dan pengalaman masyarakat (disebelah kanan). Aliran pengetahuan ilmiah dalam satu arah dan informasi empiris dalam arah yang berlawanan berbaur dan mendukung perkembangan ilmu dan teknologi bahan.

6.1.1. Deformasi Elastis

Pemakaian bahan umumnya dikhususkan menerima gaya atau beban terpakai, sebagai contoh aluminium paduan yang dirancang khusus untuk sayap pesawat terbang dan poros kendaraan bermotor. Dalam kondisi ini, perlu untuk mengetahui karakteristik suatu bahan dan merancang dengan teliti untuk membuat bahan yang mampu menerima deformasi dengan tidak mengalami keretakan dengan biaya yang tidak mahal. Sifat mekanik suatu bahan mencerminkan hubungan antara rangsangan atau deformasi dengan gaya terpakai. Perilaku sifat mekanik ini sangat penting, seperti : kekuatan, kekerasan, elastisitas, dan ketangguhan bahan.

Kerapatan

Sebelum membicarakan lebih jauh sifat mekanik bahan, terlebih dahulu akan kita jelaskan 2 (dua) sifat dasar suatu bahan, yaitu : rapat massa dan berat jenis.

Rapat massa merupakan besaran yang menyatakan ukuran kerapatan partikel-pertikel menyusun bahan, dan dinyatakan dengan hubungan

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (6.1)$$

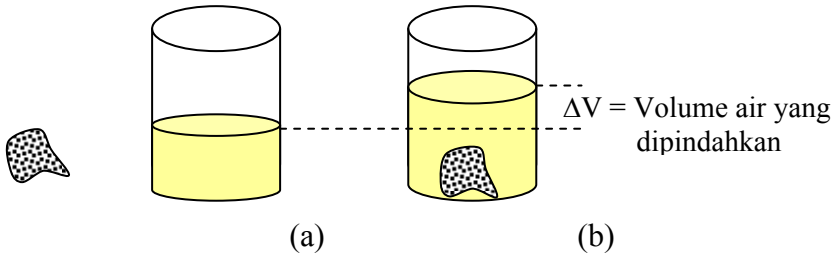
Dengan m adalah massa bahan (kg) dan V adalah volume bahan (m^3) sehingga satuan rapat massa ρ adalah kg/m^3.

Kegiatan 6.1 ***Mengukur rapat massa***

Tujuan :
Mengukur rapat massa suatu bahan

Alat dan Bahan :
Sebuah gelas ukur (lengkap dengan skalanya), air ledeng, beberapa bahan (batu, baja, dan bahan yang lain), penggaris, timbangan digital (timbangan kue)

Langkah Kerja :
1. Masukkan air ke dalam gelas ukur sampai separuhnya.
2. Catat tinggi air pada gelas ukur
3. Timbang massa benda yang akan diukur rapat massanya dan catat
4. Masukkan massa benda yang sudah ditimbang ke dalam gelas ukur, selanjutnya amati perubahan tinggi muka air pada gelas ukur dan catat (Gambar 6.2)
5. Lakukan juga untuk berbagai jenis bahan



Gambar 6.2. Cara menentukan volume benda melalui proses pencelupan (a) bahan sebelum dicelupkan ke dalam wadah (b)Bahan setelah dimasukkan ke dalam wadah, terjadi pertambahan volume air

<u>Tugas</u>

1. Apakah benda yang satu dengan benda yang lain mempunyai rapat massa yang sama ?
2. Jika ada dua benda yang sama, tetapi mempunyai massa yang berbeda, Apakah kedua benda tersebut mempunyai rapat massa yang sama?

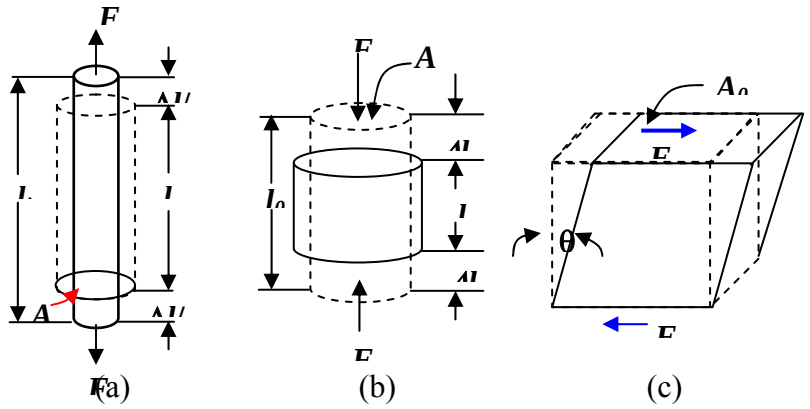
Berat Jenis suatu bahan pada dasarnya tidak berbeda dengan rapat massa dan cara menghitungnya sama dengan langkah pada Gambar 6.2, tetapi massa pada Persamaan (6.1) dikalikan dengan percepatan gravitasi (m/s2). Secara matematis dinyatakan dengan persamaan

$$\rho_g = \frac{m.g}{V} = \frac{W}{V} \qquad (6.2)$$

Dengan W adalah berat bahan (N) dan V adalah volume bahan (m^3), sehingga satuan berat jenis (ρ_g) adalah (N/m^3)

Kosep Tegangan Regangan

Jika suatu bahan pada temperatur kamar dikenai gaya statis dimana perubahannya sangat lambat terhadap waktu, maka bahan tersebut dikatakan telah mengalami pengujian tegangan-regangan secara sederhana. Ada 3 (tiga) jenis beban (gaya) terpakai yang dapat dikenakan pada bahan, yaitu: tegangan tarik, tegangan tekan dan tegangan geser. Ketiga jenis beban atau gaya ini diilustrasikan pada Gambar 6.3.

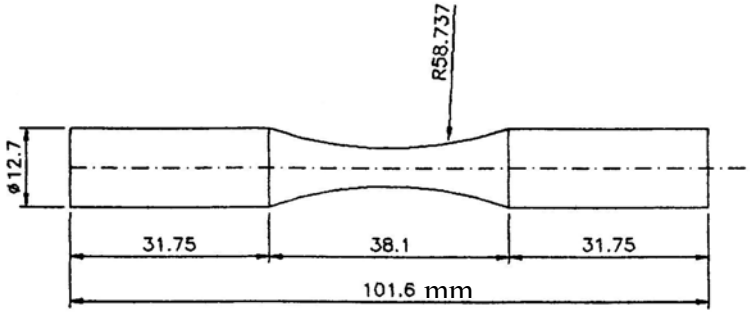


Gambar 6.3. (a) Ilustrasi skematik bagaimana suatu gaya tegangan menghasilkan perpanjangan dan regangan linier positif. Garis putus-putus mewakili bentuk sebelum deformasi dan garis padat setelah deformasi. (b) Ilustrasi skematik bagaimana suatu gaya tekan menghasilkan konstraksi dan regangan linier negatif.

(c) Skematik yang diwakili oleh regangan geser γ, dengan $\gamma = tan\ \theta$

Pengujian Tegangan

Salah satu cara yang umum dilakukan dalam pengujian sifat mekanik tegangan-regangan adalah unjuk kerja bahan karena pengaruh ***tegangan*****.** Suatu bahan (sampel) yang mengalami deformasi dengan beban tegangan bertambah secara perlahan-lahan (kontinu) sepanjang arah tunggal sumbu sampel akan mengalami tegangan-regangan. Bentuk sampel standar untuk pengujian tegangan reganagn ditunjukkan pada Gambar 6.4.

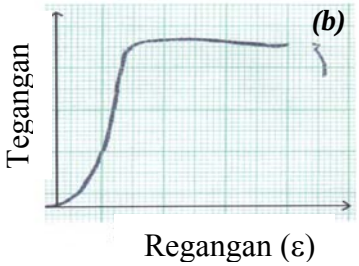


Gambar 6.4. Sampel tegangan standard dengan tampang lintang melingkar

Secara normal tampang lintangnya berbentuk lingkaran dan sumbu sampel saling tegak lurus. Ukuran standar sampel tergantung merk alat yang dipakai, namun umumnya tidak jauh berbeda. Diameter standar 12,7 mm, panjang Gauge digunakan untuk menentukan keuletan dengan panjang standar 50 mm.

Bentuk alat uji tarik ditunjukkan pada Gambar 6.5**.** Hasil pengujian tegangan-regangan dicatat pada kertas grafik. Sumbu tegak (vertikal) menyatakan nilai tegangan dan sumbu mendatar (horisontal) menyatakan nilai regangan.





Gambar 6.5 (a) alat uji tegangan tarik dan (b) Grafik hasil uji tarik

Karakteristik deformasi karena beban terpakai tergantung pada ukuran sampel. Sebagai contoh diperlukan beban dua kali lebih besar untuk menghasilkan perpanjangan yang sama jika luas penampang lintangnya dilipatgandakan. Secara matematis tegangan teknik dinyatakan dengan rumusan

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \qquad (6.3)$$

Dengan F adalah beban (gaya) yang dipakai secara tegak lurus terhadap tampang lintang dalam satuan Newton (N) dan A_0 adalah luas tampang lintang mula-mula sebelum dikenai gaya tarik (inc^2 atau m^2). Satuan tegangan teknik σ adalah Mega Pascal (Mpa) atau N/m^2 (1 MPa = 10^6 N/m^2 = 145 psi)

Regangan teknik ε berhubungan dengan perubahan panjang bahan akibat dikenai gaya terpakai, secara matematis dinyatakan dengan rumusan

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (6.4)$$

Dengan l_0 adalah panjang bahan mula-mula sebelum dikenai beban tarik dan l_i adalah panjang akhir benda setelah dikenai beban tarik. Seringkali $l_i - l_0$ dinotasikan dengan Δl dan dinyatakan sebagai perpanjangan deformasi atau perubahan panjang dari panjang mula-mula. *Regangan teknik seringkali disebut regangan saja*, satuan yang digunakan adalah meter per meter, sehingga harga regangan jelas tidak tergantung pada sistem satuan. Seringkali regangan dinyatakan dalam prosen dengan harga regangan dikalikan 100.

Kegiatan 6.2 ***Menentukan tegangan dan regangan***

Tujuan :

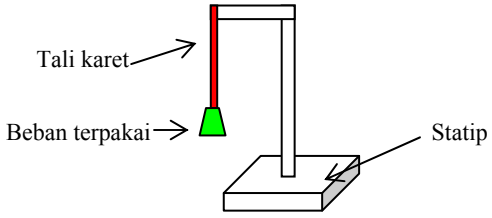
Menentukan regangan dan tegangan

Alat dan Bahan :

Tiga helai tali karet dari jenis yang berbeda (tali karet yang biasa dipakai untuk celana), anak timbangan (10 gr, 50 gr, 100 gr), penggaris, statip (tempat gantungan)

Langkah Kerja :

1. Potong tali karet sepanjang 30 cm, dan susun seperti Gambar 6.6.
2. Gantungkan anak timbangan pada ujung bawah karet
3. Amati dan ukur pertambahan pajang karet, lakukan juga untuk beban yang berbeda-beda



Gambar 6.6. Susunan percobaan

4. Tentukan besarnya regangan dan tegangan yang terjadi untuk setiap beban yang digunakan.

Tugas

1. Apakah besarnya regangan dan tegangan dipengaruhi oleh besarnya beban yang dipakai
2. Apakah besarnya regangan dan tegangan dipengaruhi oleh kekuatan (kekakuan) tali karet yang digunakan

Contoh soal 1

Tentukan tegangan mana yang lebih besar dalam : (a) batang aluminium berukuran 24,6 mm x 30,7 mm, dengan beban 7640 kg atau (b) Batang baja berdiameter 12,8 dengan beban 5000 kg. (ambil nilai g = 9,8 m/s^2)

Penyelesaian

Tegangan pada batang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6.3)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{W}{A_0} = \frac{m.g}{A_0} = \frac{(kg).(m/s^2)}{m^2} = Pascal$$

a) Untuk batang aluminium :

$$\sigma_{Al} = \frac{(7640).(9,8)}{(24,6x10^{-3}).(30,7x10^{-3})} = 100 \text{ Mpa}$$

b) Untuk batang batang baja: $\sigma_{baja} = \dfrac{(5000).(9,8)}{\pi.\left(\dfrac{12,8x10^{-3}}{2}\right)^2} = 380$ Mpa

Contoh soal 2

Suatu batang tembaga dengan panjang ukur 50 mm, dikenai tegangan tarik sehingga memanjang menjadi 59 mm. Tentukan regangan pada batang tembaga tersebut.

Penyelesaian

Regangan pada batang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6.4)

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} x100\% = \frac{59-50}{50} x100\% = 18\%$$

Pengujian Tegangan Tekan dan Tegangan Geser

Pengujian tegangan-regangan tekan dan geser dapat dilakukan jika gaya yang digunakan adalah jenis tekan dan geser. Pengujian tegangan tekan dilakukan dengan cara yang sama dengan pengujian tegangan tarik, tetapi arah gayanya berlawanan dan perubahan panjang sampel searah dengan tegangan yang diberikan. Persamaan 6.3 dan 6.4 dapat digunakan untuk menghitung tegangan dan regangan tekan. Dengan catatan bahwa beban (gaya) tekan berharga negatif dan menghasilkan regangan negatif. Selanjutnya l_0 lebih besar dari l_i, regangan tekan dihitung dari Persamaan 6.4 juga berharga negatif. Pengujian tegangan lebih umum kerena mempunyai unjuk kerja yang lebih mudah. Juga untuk beberapa bahan informasi yang diperoleh lebih sedikit pada pengujian tegangan tekan.

Pengujian unjuk kerja bahan dengan menggunakan gaya geser seperti yang ditunjukkkan pada Gambar 6.3c, tegangan geser dihitung dengan persamaan :

$$\tau = \frac{F}{A_0} \qquad (6.5)$$

Dengan F adalah gaya muka atas dan bawah yang arahnya berlawanan dan masing-masing mempunyai luas A_0. Regangan geser γ didefinisikan sebagai tangen dari sudut regangan θ (γ = tan θ) , seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 6.3c. Satuan tegangan dan regangan geser sama dengan sebelumnya

6.1.2. Hukum Hooke

Besarnya perubahan struktur atau regangan tergantung pada besarnya tegangan yang diberikan. Untuk beberapa logam tingkat perubahan tegangan relatif lambat, besarnya tegangan dan regangan berbanding lurus dan dinyatakan melalui hubungan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F / A_0}{\Delta l / l_0} = \frac{F}{A_0} . \frac{l_0}{\Delta l} \qquad (6.6)$$

Persamaan dikenal sebagai **hukum Hooke** dan ***E*** adalah *konstanta proporsional* dalam satuan Mpa atau N/m^2 yang dikenal sebagai sebagai *modulus elastisitas* atau *modulus Young*.

Contoh soal 3

Modulus elastisitas baja rata-rata sama dengan 205.000 Mpa. Berapakah regangan kawat berdiameter 2,5 mm dengan panjang 3 m bila dibebani 500 kg (=49000 N)?

Penyelesaian

Pertambahan panjang bahan setelah dikenai beban yang mempunyai modulus elastisitas 205.000 Mpa dapat dihitung dari Persamaan (6.6)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F / A_0}{\Delta l / l_0} = \frac{F}{A_0} . \frac{l_0}{\Delta l} \text{ atau}$$

$$\Delta l = \frac{F}{A_0} . \frac{l_0}{E} = \frac{(4900).(3)}{\pi(2{,}5x10^{-3} / 2)^2 .205.000x10^6} = 15\ mm$$

Contoh soal 4

Sepotong tembaga mula-mula panjangnya 305 mm dikenai tegangan tarik sebesar 276 Mpa, Jika deformasi yang terjadi adalah elastis, berapa pertambahan panjang yang terjadi

Penyelesaian

Karena deformasi yang dikenakan bersifat elastis, regangan tergantung pada tegangan menurut Persamaan (6.6). Selanjutnya Δl dihubungkan dengan panjang mula-mula lo melalui Persamaan (6.4). Kombinasi ke dua persamaan tersebut menghasilkan Δl

$$\sigma = \varepsilon E = \left(\frac{\Delta l}{l_o}\right) E \quad atau \quad \Delta l = \frac{\sigma . l_o}{E}$$

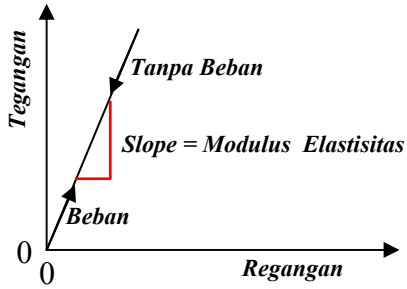
Harga σ = 276 Mpa dan l_o = 305 mm, sedangkan nilai E untuk tembaga menurut Tabel 6.1 adalah $11x10^4$ Mpa. Sehingga perpanjangan tembaga adalah

$$\Delta l = \frac{(276x10^6\ Pa)(304\ mm)}{11x10^{10}\ Pa} = 0{,}76\ mm$$

6.1.3. Modulus Elastisitas Bahan

Deformasi: pemberian beban gaya tarik / tekan pada benda yang akan menghasilkan perbandingan tegangan yang sebanding dengan regangan disebut deformasi elastis. Grafik dari tegangan pada sumbu y dan regangan pada sumbu x menghasilkan hubungan linier, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.7.

Seperti yang terlihat pada Gambar 6.7 slope dari bagian yang linier merupakan modulus elastisitas *E*. Moduluas elatisitas ini menyatakan kekuatan atau ketahanan bahan dalam menerima deformasi elastis, semakin besar nilai modulusnya semakin kuat bahan tersebut.



Gambar 6.7. Skematik diagram tegangan-regangan yang menunjukkan deformasi elastik untuk siklus beban dan tanpa beban

Beberapa jenis logam nilai modulus elastisitasnya berkisar antara $4{,}5x10^4$ MPa untuk Magnesium sampai $40{,}7x10^4$ MPa untuk Tungsten. Nilai modulus elastisitas beberapa bahan logam pada temperatur kamar ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Modulus Elastisitas Beberapa Bahan Logam

Logam Paduan	Modulus Elastisitas		Modulus Geser		Bilangan Poisson
	Psi x 10^6	Mpa x 10^4	Psi x 10^6	Mpa x 10^4	
Magnesium	6,5	4,5	2,5	1,7	0,29
Aluminium	10,0	6,9	3,8	2,6	0,33
Kuningan	14,6	10,1	5,4	3,7	0,35
Titanium	15,5	10,7	6,5	4,5	0,36
Tembaga	16,0	11,0	6,7	4,6	0,35
Nikel	30,0	20,7	11,0	7,6	0,31
Baja	30,0	20,7	12,0	8,3	0,27
Tungsten	59,0	40,7	23,2	16,0	0,28

Deformasi elastis sifatnya tidak permanen, bilaman bahan dikenai beban bahan akan kembali ke bentuknya semula. Berdasarkan ploting tegangan-regangan (Gambar 6.7) pemberian beban berhubungan dengan gerakan dari titik 0 sampai ke atas sepanjang garis lurus, jika beban dihilangkan garisnya akan merambat kembali ke titik awal dalam arah yang berlawanan.

Tegangan tekan dan geser dapat mempunyai sifat elastis yang hampir sama. Karakteristik tegangan-regangan pada pemakaian tegangan rendah sama untuk tegangan tarik dan tekan, termasuk besarnya modulus elastisitas. Sedangkan perbandingan tegangan dan regangan geser dinyatakan dengan persamaan

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \tag{6.7}$$

Dengan G disebut modulus geser, slope daerah elastiknya juga linier pada kurva tegangan-regangan geser dan mempunyai satuan Mpa atau N/m^2. Tabel 6.1 menunjukkan nilai modulus geser beberapa bahan logam.

Sifat Elastis Bahan

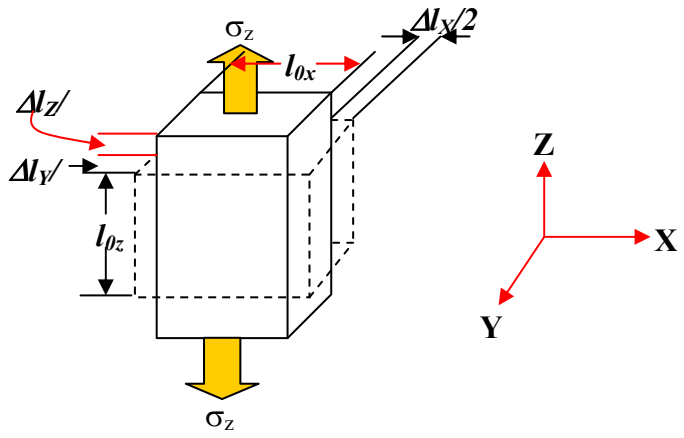
Bilamana bahan logam dikenai tegangan tarik, maka bahan logam tersebut akan mengalami pertambahan panjang dengan regangan

ε_z dihasilkan dalam arah tegangan terpakai sepanjang arah sumbu z, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.8.

Hasil pengujian tarik seperti yang dilakukan pada Gambar 6.8 menghasilkan perpanjangan pada arah sumbu z dan mengalami penyusutan pada arah lateral (sumbu x dan sumbu y), sehingga nilai regangan tekan ε_x dan ε_y dapat ditentukan. Jika tegangan terpakai satu sumbu (hanya arah sumbu z), maka $\varepsilon_x = \varepsilon_y$. Perbandingan tegangan lateral dan axial dikenal sebagai **bilangan poisson** *(υ)* dan dinyatakan dengan persamaan

$$\upsilon = -\frac{\varepsilon_X}{\varepsilon_Z} = -\frac{\varepsilon_Y}{\varepsilon_Z} \qquad (6.8)$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa υ akan selalu positif, karena ε_x dan ε_Z arahnya selalu berlawanan. Dalam kondisi ideal tidak terjadi perubahan volume selama deformasi elastis, sehingga bilangan poisson υ = 0,5. Oleh karena itu, secara normal perubahan volume langsung mempengaruhi deformasi yang terjadi dengan υ lebih kecil dari 0,5. Nilai bilangan Poisson untuk beberapa bahan logam diberikan pada Tabel 6.1.



Gambar 6.8. Perpanjangan ke arah sumbu z (regangan positif) dan penyusutan lateral (sb x dan sb y) menghasilkan regangan

negatif dalam pemberian tegangan tarik. Garis padat mewakili dimensi setelah bahan dikenai tegangan dan garis putus-putus sebelum bahan dikenai tegangan

Modulus elastisitas dan modulus geser saling berhubungan dengan bilangan Poisson dan dinyatakan menurut persamaan :

$$E = 2G(1+\upsilon) \qquad (6.9)$$

Dalam beberapa logam nilai G sekitar 0,4E, jadi jika salah satu nilai modulus diketahui, maka modulus yang lain dapat ditentukan

Contoh soal 5

Suatu tegangan tarik dikenakan sepanjang sumbu silinder batang kuningan yang berdiameter 10 mm. Tentukan besarnya beban yang diperlukan agar menghasilkan perubahan diameter sebesar $2{,}5\text{x}10^{-3}$ mm, jika deformasi yang terjadi adalah elastis

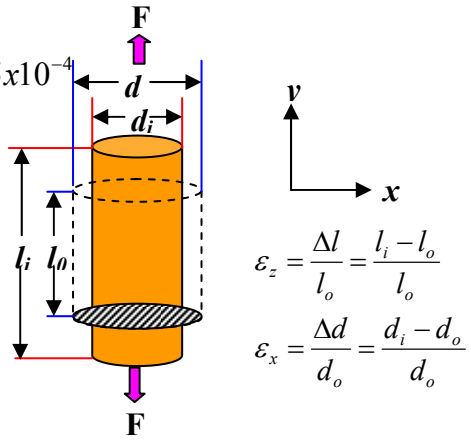
Penyelesaian

Situasi deformasi yang terjadi diwakili oleh Gambar disamping. Bilamana gaya F dikenakan, bahan (sampel) akan mengalami perpanjangan dalam arah z dan pada saat yang sama diameter Δd mengalami penyusutan sebesar $2{,}5\text{x}10^{-3}$ mm dalam arah sumbu x. Regangan dalam arah x adalah :

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta d}{d} = \frac{-2{,}5x10^{-3}}{10} = -2{,}5x10^{-4}$$

Tanda negatif menyataka diameter silinder menyusut.

Untuk menghitung regangan dalam arah sumbu z gunakan Persamaan (6.8), nilai bilangan Poisson untuk kuningan adalah 0,35 (Tabel 6.1). Jadi



$$\varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l_i - l_o}{l_o}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta d}{d_o} = \frac{d_i - d_o}{d_o}$$

$$\varepsilon_Z = -\frac{\varepsilon_X}{\upsilon} = -\frac{(-2{,}5x10^{-4})}{0{,}35} = 7{,}14x10^{-4}$$

Sekarang dapat dihitung tegangan yang dikenakan dengan menggunakan Persamaan (6.6) dan modulus elastisitasnya diberikan pada Tabel 6.1 sebesar 10,1x10^4 Mpa, sehingga

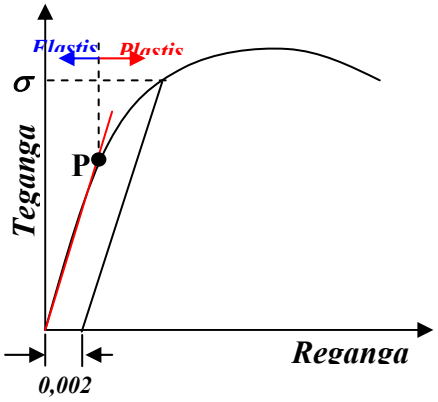
$$\sigma = \varepsilon_Z.E = (7{,}14x10^{-4}).(10{,}1x10^4\,MPa) = 72{,}1\,MPa$$

Dari Persamaan (6.3) gaya (beban) yang dipakai adalah :

$$F = \sigma A_0 = \sigma\left(\frac{d_0}{2}\right)^2\pi = 72{,}1x10^6\left(\frac{10^{-2}}{2}\right)^2\pi = 5659{,}85\ N$$

6.1.4. Deformasi Plastis

Dalam beberapa bahan logam, deformasi elastis tepat hanya sampai regangan sekitar 0,002. Jika bahan dideformasi di atas titik tersebut tegangannya tidak lagi sesuai dengan perubahan regangan yang bersifat elastis tetapi sudah bersifat permanen. Akibatnya bahan tidak dapat dipulihkan kembali atau bahan telah mengalami deformasi plastis. Gambar 6.9 menyatakan hubungan secara skematik sifat tegangan-regangan tarik di dalam daerah plastis untuk logam. Transisi dari elastis ke plastis adalah salah satu perubahan sifat untuk kebanyakan logam, dimana pertambahan regangan lebih cepat dari pada pertambahan tegangan.

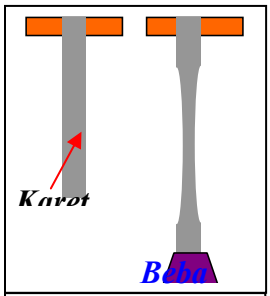


Gambar 6.9. Perilaku tegangan-regangan untuk logam yang menunjukkan deformasi elastis dan plastis, batas proporsional *P*, dan kekuatan luluh σ_y digunakan untuk menentukan regangan 0,002 dengan metode offset.

Kegiatan 6.3 *Menentukan modulus elastisitas*

Tujuan :
Menentukan modulus elastisitas suatu bahan

Alat dan Bahan :
Tiga helai tali karet dari jenis yang berbeda (tali karet yang biasa dipakai untuk celana), anak timbangan (10 gr, 50 gr, 100 gr), penggaris, statip (tempat gantungan)



Gambar 6.10.
Desain Percobaan

Langkah Kerja :

1. Siapkan ban dalam motor atau mobil atau tali karet (Beli di tukang tambal ban)
2. Gunting ban dalam tersebut dengan ukuran 2 cm x 30 cm
3. Lekatkan pada langit-langit, salah satu ujung ban, sehingga ban tergantung secara vertikal
4. Gantungkan beban pada ujung bawah ban, mulai dari beban yang ringan
5. Ukur perubahan panjang yang terjadi selanjutnya
6. Tentukan modulus elastisitas ban tersebut
7. Jika setelah beban dilepas ban tidak kembali ke kondisi semula, berarti beban yang diberikan telah melampaui batas elastisitas.

6.2 Rangkuman

Teknologi harus memenuhi kebutuhan dan kenginan masyarakat, sehingga bahan-bahan harus digunakan secara cermat. Hal ini mencakup pemilihan bahan dengan karakteristik optimum, dapat diandalkan, desain yang aman dan serasi dengan kesejahteraan masyarakat.

Sifat dan perilaku bahan merupakan cerminan dari struktur didalamnya. Bila diperlukan sifat yang khas, misalnya sifat mekanik, maka perlu dipilih bahan yang berkaitan dengan ketahanan terhadap perubahan mekanik oleh gaya luar. Perilaku mekanik bahan ditentukan oleh :

Rapat massa merupakan besaran yang menyatakan ukuran kerapatan partikel-pertikel menyusun bahan, dan dinyatakan dengan hubungan

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

Dengan m adalah massa bahan (kg) dan V adalah volume bahan (m^3) sehingga satuan rapat massa ρ adalah kg/m^3.

Berat Jenis, secara matematis dinyatakan dengan persamaan

$$\rho_g = \frac{m.g}{V} = \frac{W}{V}$$

Dengan W adalah berat bahan (N) dan V adalah volume bahan (m^3), sehingga satuan berat jenis (ρ_g) adalah (N/m^3)

Deformasi yang terjadi pada bahan karena beban terpakai tergantung pada ukuran sampel. tegangan teknik dinyatakan dengan rumusan

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dengan F adalah beban (gaya) yang dipakai secara tegak lurus terhadap tampang lintang dalam satuan Newton (N) dan A_0 adalah luas tampang lintang mula-mula sebelum dikenai gaya tarik (inc^2 atau m^2). Satuan

tegangan teknik σ adalah Mega Pascal (Mpa) atau N/m^2 (1 MPa = 10^6 N/m^2 = 145 psi)

Regangan teknik ε berhubungan dengan perubahan panjang bahan akibat dikenai gaya terpakai, secara matematis dinyatakan dengan rumusan

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Dengan l_0 adalah panjang bahan mula-mula sebelum dikenai beban tarik dan l_i adalah panjang akhir benda setelah dikenai beban tarik. Seringkali $l_i - l_0$

Perbandingan tegangan dan regangan dinyatakan melalui hubungan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Persamaan ini dikenal sebagai **hukum Hooke** dan ***E*** adalah *konstanta proporsional* dalam satuan Mpa atau N/m^2 yang dikenal sebagai sebagai *modulus elastisitas* atau *modulus Young*.

1. Suatu sampel silinder dari paduan titanium mempunyai modulus elastisitas 10,7x10^4 Mpa dengan diameter mula-mula 3,8 mm. Hanya menghasilkan deformasi elastis jika dikenai beban tarik terpakai 2000 N. Tentukan panjang maksimum sampel sebelum dideformasi, jika perpanjangan yang dihasilkan maksimum 0,42 mm.
2. Suatu sampel aluminium mempunyai luas tampang lintang 10 mm x 12,7 mm ditarik dengan gaya 35.500 N dan hanya menghasilkan deformasi elastis. Tentukan regangan yang dihasilkan
3. Suatu batang baja panjangnya 100 mm dan mempunyai tampang lintang persegi 20 mm pada sisi-sisinya. Jika batang dikenai beban tarik 8,9x10^4 N menghasilkan perpanjangan 0,1 mm dan deformasi yang terjadi bersifat elastis, tentukan modulus elastis dari batang baja tersebut?
4. Suatu sampel silinder dari aluminium diameternya 19 mm dan panjangnya 200 mm dideformasi secara elastis dengan gaya tarik 48.800 N. Dengan menggunakan data dalam Tabel 6.1, tentukan :
   a) Perpanjangan dalam arah tegangan terpakai
   b) Perubahan diameter sampel, diameternya bertambah atau berkurang?
5. Suatu batang silinder dari baja diameternya 10 mm dikenai deformasi secara elastis sepanjang sumbu batang. Dengan

menggunakan data dalam Tabel 6.1, tentukan besarnya gaya yang dapat menghasilkan pengurangan diameter $3x10^{-3}$ mm

6.3 Soal Uji Kompetensi

1. Suatu batang silinder dari aluminium mempunyai diameter 19 mm dan panjangnya 200 mm dikenai deformasi secara elastis dengan gaya tarik 48.800 N. Dengan menggunakan Tabel 6.1, tentukan :
   (a) Perpanjangan dalam arah tegangan terpakai
   (b) Perubahan diameter batang silinder
2. Paduan kuningan diketahui mempunyai kekuatan luluh 275 MPa, kekuatan tarik 380 Mpa dan modulus elastisitas $10,3x10^4$ Mpa. Suatu bahan silinder dari paduan ini diameternya 12,7 mm dan panjangnya 250 mm dikenai tegangan tarik dan mengalami perpanjangan sebesar 7,6 mm. Dari informasi yang diberikan, hitung besarnya beban yang diperlukan agar menghasilkan perubahan panjang seperti di atas. Mungkinkah terjadi, jika tidak mungkin, mengapa?
3. Suatu bahan dari baja diameternya 10 mm dikenai deformasi secara alastis sepanjang sumbunya. Dengan menggunakan data dari Tabel 6.1, tentukan besarnya gaya yang dapat menghasilkan pengurangan diameter elastik sebesar $3x10^{-3}$ mm
4. Suatu batang silinder panjangnya 380 mm mempunyai diamter 10 mm, diberikan tegangan tarik sepanjang sumbunya. Jika batang mengalami deformasi plastis dan menghasilkan perpanjangan lebih besar dari 0,9 mm bilamana tegangan terpakai sebesar 24.500 N. Mana yang kamu pilih dari ke empat kandidat logam arau paduan dari tabel di bawah yang dapat menghasilkan kondisi di atas

Bahan	Modulus Elastisitas (psi)	Kekuatan Luluh (psi)	Kekuatan Tarik (psi)
Aluminium paduan	$10x10^6$	37.000	61.000
Kuningan paduan	$14,6x10^6$	50.000	61.000
Tembaga	$16x10^6$	36.000	42.000
Baja	$30x10^6$	65.000	80.000

Keterangan 1 MPa = 145 psi

5. Suatu beban 44.500 N dikenakan pada bahan silinder dari baja (sifat tegangan regangan ditunjukkan dalam gambar dibawah) mempunyai tampang lintang dengan diameter 10 mm

(a) Apakah bahan mengalami deformasi elastis atau plastis? Mengapa
(b) Jika panjang bahan mula-mula 500 mm, berapakah pertambahan panjang jika dikenai beban terpakai di atas



Gambar untuk soal No 5 dan 6

6. Suatu batang baja paduan menunjukkan sifat tegangan-regangan ketika dikenai tegangan tarik, seperti gambar di atas. Panjang batang baja mula-mula 300 mm dan tampang lintangnya persegi dengan panjang sisi 4,5 mm.
   (a) Hitung besarnya beban yang diperlukan agar menghasilkan perpanjangan 0,46 mm
   (b) Apakah terjadi demformasi setelah beban dilepas ?

DAFTAR PUSTAKA

Tippler, Paul A, 1998, ***Fisika Untuk Sains dan Teknik***, Alih Bahasa Lea Prasetio, Rahmat W Adi, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Douglas C Giancoli, ***FISIKA***, Jilid 1 Edisi 5, Alih Bahasa Yulhiza Hanum, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Marthen Kanginan, 2006, ***Fisika Untuk SMA Kelas IX,X, dan XI-***, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Raymond Serway, et. al, ***Physics for Scientists and Engineers***, Saunders College Publishing, New york.

Dosesn-Dosen Fisika FMIPA ITS, 1998, ***Diktat Fisika Dasar I***, Yanasika ITS.

Lawrence H Van Vlack, ***"Elements of Materials Science and Engineering"*** Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1985

William D Callister Jr, ***"Materials Science and Engineering" An Introduction,*** John Willey and Sons, Singapore, 1986

O'Dwyer, John J, 1984, ***College Physics***, Wadsworth, Inc, USA

Lawrence H Van Vlack, ***"Elements of Materials Science and Engineering"*** Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1985

William D Callister Jr, ***"Materials Science and Engineering" An Introduction,*** John Willey and Sons, Singapore, 1986

Dikmenjur, ***Bahan Ajar Modul Manual Untuk SMK Bidang Adaptif Mata Pelajaran Fisika***, 2004.

Dra. Etty Jaskarti S, Drs. Iyep Suryana, 1994, ***Fisika untuk SMK Kelompok Teknologi dan Industri Program Studi Belmo***, Tingkat 1 Catur wulan 1,2, dan 3, Penerbit ANGKASA Bandung.

A2

Glosarium

Akurasi: Berkaitan dengan ketepatan, hasil pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya.
Angka penting: Angka-angka hasil pengukuran yang terdiri dari angka pasti dan angka taksiran.
Besaran: Sesuatu yang memiliki kuantitas/nilai dan satuan.
Besaran pokok: Besaran yang satuannya didefinisikan sendiri melalui konferensi internasional.
Besaran turunan: Besaran-besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok.
Dimensi: Salah satu bentuk deskripsi suatu besaran.
Jangka sorong: Alat ukur panjang dengan nonius geser, umumnya memiliki ketelitian hingga 0,1 mm atau 0,05 mm.
Kilogram (kg) Satuan SI untuk massa.
Massa benda: Jumlah materi yang terkandung dalam suatu benda.
Meter (m): Satuan SI untuk panjang.
Mikrometer sekrup: Alat ukur panjang dengan nonius putar, umumnyavmemiliki ketelitian hingga 0,01 mm.
Neraca lengan: Alat ukur massa.
Neraca pegas: Alat ukur gaya, termasuk gaya berat.
Newton (N): Satuan SI untuk gaya.
Nonius: Skala tambahan yang membagi skala utama menjadi nilai/kuantitas lebih kecil.
Panjang: Jarak antara dua titik.
Paralaks: Kesalahan yang terjadi karena pemilihan posisi atau sudut pandang yang tidak tegak lurus.
Pengukuran: Kegiatan membandingkan suatu besaran dengan besaran lain sejenis yang digunakan sebagai satuan.
Presisi: Berkaitan dengan ketelitian, pengukuran yang mengandung ketidak pastian kecil.
Sekon: Satuan SI untuk waktu.
Skala terkecil: Skala pada alat ukur yang nilainya paling kecil, dibatasi oleh dua garis skala yang paling dekat.

SI Sistem Internasional: sistem satuan yang berbasis sistem metrik.
Stopwatch: Alat pengukur waktu.
Termometer: Alat pengukur temperatur.
Waktu: Selang antara dua kejadian atau peristiwa.

Besaran: Sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka.
Besaran scalar:

- Besaran yang cukup dinyatakan dengan suatu angka.
- Besaran yang hanya memiliki besar (nilai) saja.

Besaran vector:

- Besaran yang harus dinyatakan dengan suatu angka dan arah
- Besaran yang memiliki arah dan besar (nilai)

Gerak jatuh bebas: Gerak suatu benda yang dijatuhkan dari suatu ketinggian tanpa kecepatan awal
Gerak lurus beraturan: Gerak benda pada garis lurus yang pada selang waktu sama akan menempuh jarak yang sama.
Gerak lurus berubah beraturan Gerak benda yang lintasannya pada garis lurus dengan perubahan kecepatan tiap selang waktu adalah tetap.
Gerak vertical: Gerak suatu benda pada arah vertikal terhadap tanah, yang selama geraknya benda itu dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi.
Gerak vertikal ke atas: Gerak benda yang dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal tertentu. Pada kasus gerak vertical ke atas terdapat dua kejadian yaitu gerak vertical naik dan gerak vertikal turun.
Gerak vertikal ke bawah: Gerak benda yang dilempar vertikal ke bawah dengan kecepatan awal tertentu
Gradien: Kemiringan suatu garis/kurva
Jarak: Panjang lintasan sesungguhnya yang ditempuh oleh suatu benda dalam waktu tertentu, dan tidak bergantung pada arah sehingga jarak selalu memiliki tanda positif (+).
Kedudukan: Letak suatu materi yang dinyatakan terhadap suatu titik sembarang (titik acuan).
Kuadran: Daerah pada sumbu koordinat yaitu di atas sumbu x positif dan di sebelah kanan sumbu y positif.

Lintasan:

- Jalan yang dilalui suatu materi/benda yangbergerak.
- Titik berurutan yang dilalui suatu benda yang bergerak.

Percepatan: Penambahan kecepatan per satuan waktu.

Perpindahan: Perubahan kedudukan awal dan akhir suatu benda karena adanya perubahan waktu dan tidak bergantung pada jalan mana yang ditempuh oleh benda.

Pewaktu ketik (ticker timer): Alat yang dapat digunakan untuk menentukan kelajuan sesaat dan percepatan suatu benda yang bergerak.

Titik acuan: Titik pangkal pengukuran.

Perlambatan: Pengurangan kecepatan per satuan waktu.

Gerak melingkar beraturan Gerak yang lintasannya melingkar dengan kelajuan konstan.

Kecepatan linier: Kecepatan gerak melingkar yang arahnya selalu tegak lurus jari-jari lingkaran.

Kecepatan sudut: Perpindahan sudut persatuan waktu

Percepatan sentripetal: Perubahan kecepatan persatuan waktu pada gerak melingkar yang arahnya selalu ke pusat lingkaran.

Gaya sentripetal: Gaya yang mengakibatkan percepatan sentripetal.

Percepatan sentrifugal: Percepatan yang dihasilkan adanya gaya sentrifugal.

Gaya sentrifugal: Gaya inersial yang besarnya sama dan arahnya berlawanan dengan gaya sentripetal. Berdasarkan hukum III Newton gaya setrifugal dan gaya sentripetal merupakan pasangan gaya aksi dan reaksi.

Kelembaman: Mempertahankan dalam keadaan semula baik dalam keadaan bergerak maupun diam.

Gaya Merupakan besaran vektor yang mempunyai nilai besar dan arah, misalnya berat mempunyai nilai 10 m/s^2 arahnya menuju kepusat bumi.

Gaya aksi: Gaya yang diberikan oleh benda pertama kepada benda kedua.

Gaya reaksi: Gaya yang diberikan benda kedua sebagai akibat adanya gaya oleh benda pertama, yang mempunyai besar sama dengan gaya aksi tetapi arahnya berlawanan.

Percepatan: Merupakan vektor yang dapat menyebabkan kecepatan berubah seiring perubahan waktu.
Gaya Normal: Gaya yang ditimbulkan oleh suatu benda pada suatu bidang dan bidang memberikan gaya reaksi yang besarnya sama dengan berat benda yang arahnya tegak lurus bidang.
Gaya Gesek: Merupakan gaya akibat dari gesekan dua buah benda atau lebih yang arah berlawanan dengan arah gerak benda.
Koefisien gesek: Perbandingan antara gaya gesek dengan gaya normal.
Massa: Jumlah materi yang dikandung suatu benda.
Berat: Merupakan gaya yang disebabkan adanya tarikan bumi, sehingga arahnya menuju ke pusat dan besarnya merupakan perkalian antara massa dan percepatan grafitasi.
Usaha: Hasil kali besar perpindahan dengan komponen gaya yang sejajar dengan perpindahan benda.
Gaya: Suatu tarikan atau dorongan yang dapat mengakibatkan perubahan bentuk dan arah gerak pada suatu benda.
Perpindahan: Perubahan kedudukan suatu benda karena mendapat pengaruh gaya.
Joule: Satuan energi dalam MKS atau SI.
Erg: Satuan energi dalam CGS.
Daya: Usaha persatuan waktu.
Watt: Salah satu satuan daya.
Pk: Satuan daya kuda.
Energi Potensial: Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena kedudukan.
Energi Kinetik: Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena kecepatan.
Energi Mekanik: Penjumlahan antara energi potensial dengan energi
kinetik pada sistem tertentu.
Gaya Konservatif: Gaya yang tidak bergantung pada lintasannya namun hanya pada posisi awal dan akhir.
Gaya non Konservatif: Gaya yang bergantung pada lintasannya.
Momentum: Ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda yang sedang bergerak.
Impuls: Perubahan momentum yang dialami benda.
Koefisien Restitusi: Ukuran Kelentingan atau elastisitas suatu

Arus Listrik Searah : Jumlah muatan positif yang mengalir dalam suatu bahan atau media per satuan waktu dari suatu titik yang memiliki potensial listrik tinggi ke titik yang berpotensial listrik rendah.

Medan Listrik: Besar Medan Listrik disuatu titik P didefini-sikan sebagai besar gaya listrik per satuan muatan di titik P tersebut.

Resistor merupakan salah satu elemen listrik yang memiliki sifat mngubah energi listrik menjadi energi panas. Sehingga energi listrik tersebut tidak dapat dipulihkan menjadi energi listrik kembali secara langsung.

Resistansi merupakan sifat intrinsik suatu bahan yang memberikan hambatan terha-dap aliran muatan listrik di dalam suatu bahwa atau materi.

Resistivitas merupakan sifat suatu bahwa untuk mem-berikan hambatan terhadap laju aliran muatan listrik di dalam suatu bahwa. Resis-tivitas merupakan sifat intrin-sik yang tidak bergantung pada ukuran dan berat benda.

Beda Potensial Listrik: dapat dimengerti secara lebih mudah dengan cara sebagai berikut Bila diantara dua titik memiliki Beda Potensial sebesar satu volt, berarti bahwa untuk memindahkan muatan satu Coulomb diantara kedua titik tersebut diperlukan energi sebesar satu joule.

Kecepatan derip merupakan nilai laju total perjalanan muatan di dalam suatu bahan atau materi.

Dielektrik: zat yang dapat digunakan untuk memperbesar kapasitansi kapasitor

Kapasitor: piranti elektronik yang terbuat dari dua buah bahan konduktor dan berfungsi untuk menyimpan energi.

Permitivitas: kemampuan suatu bahan untuk menerima fluks listrik

Generator Listrik pada arus bolak balik merupakan sumber tegangan yang digunakan memberikan aliran arus listrik bolak balik. Pengertian bolak balik terkait dengan nilai arus atau tegangan yang dihasilkan selalu berubah terhadap waktu secara sinusoida. Tegangan yang dihasilkan bernilai $+V_{\text{maks}}$ sampai dengan $-V_{\text{maks}}$. Atau kalau yang dihasilkan generator adalah arus listrik maka akan bernilai antara $+I_{\text{maks}}$ sampai dengan $-I_{\text{maks}}$.

Arus listrik bolak balik dapat dihasilkan oleh adanya jumlah fluks magnet yang dilingkupi oleh suatu kumparan. Agar proses perubahan fluks magnet tersebut dapat dilakukan secara berulang maka digunakan sistem pemutaran terhadap kumparan tersebut. Hal ini pulalah yang mengakibatkan arus atau tegangan yang dihasilkan adalah sinusoida.

Hukum Kirchhoff dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu Hukum Kesatu Kirchhoff yang menyatakan bahwa muatan yang masuk suatu titik cabang adalah kekal. Artinya jumlah muatan yang masuk sama dengan jumlah muatan yang keluar. Rumusan ini banyak digunakan menyelesaikan soal dengan tipe rangkaian sederhana. Tetapi bila terkait dengan rangkaian yang rumit, dapat digunakan hukum kedua Kirchhoff. Hukum kedua Kirchhoff pada prinsipnya merupakan penerapan hukum kekekalan energi listrik dalam suatu rangkaian. Artinya energi yang diberikan oleh baterei atau suatu sumber energi listrik maka seluruhnya akan digunakan oleh rangkaian tersebut.

Gaya gerak listrik (GGL) merupakan kemampuan suatu bahan untuk memberikan beda potensial contohnya adalah baterei. Artinya bila kedua ujung baterei dihubungkan dengan suatu resistor maka akan terdapat beda potensial pada kedua ujung resistor tersebut. Hal ini berarti baterei memberikan energi pada resistor yaitu untuk menggerakkan muatan listrik di dalam resistor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”