



Mashuri, dkk.

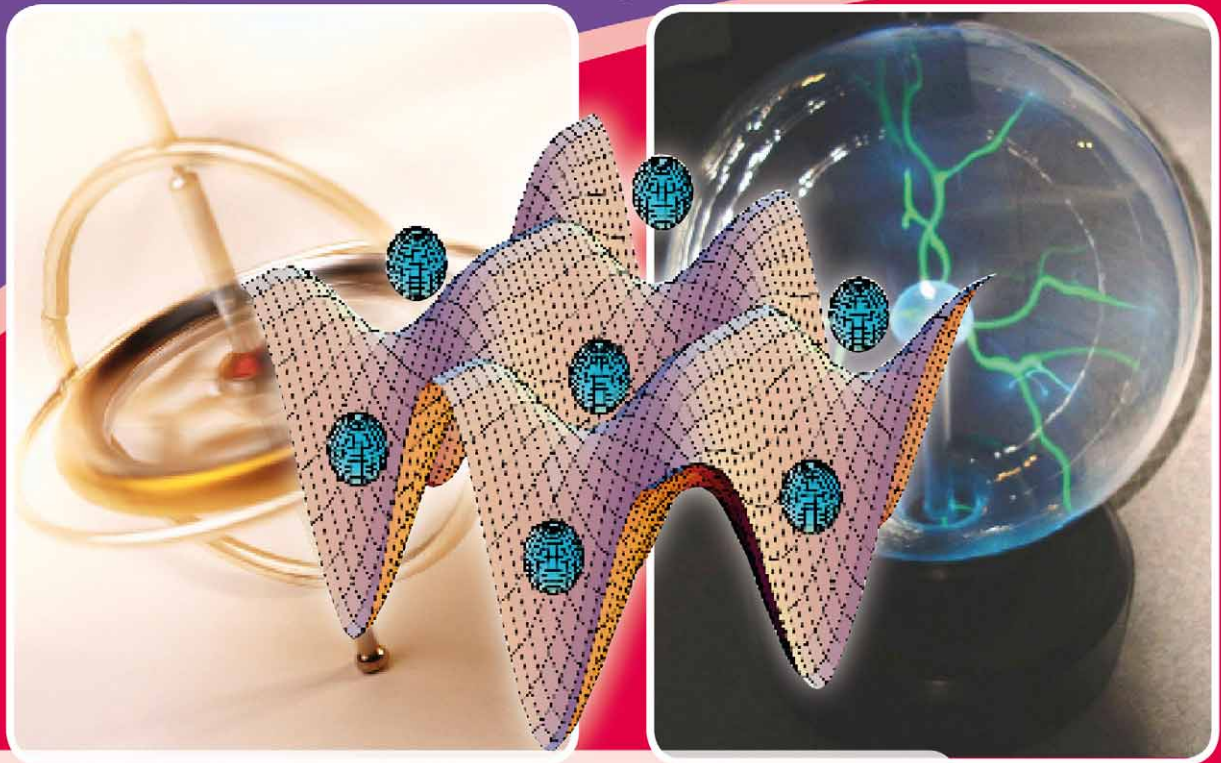


JILID 1

Mashuri, dkk.

FISIKA

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan
Kelompok Non-Teknologi



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

FISIKA JILID 1

untuk SMK Non-Teknologi

Mashuri, dkk.

FISIKA NON TEKNOLOGI

JILID 1

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 NON TEKNOLOGI

JILID 1

Untuk SMK

Penulis : Mashuri
Hasto Sunarno
Zaenal Arifin
Arif Bustomi

Editor : Suminar Pratapa

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

MAS MASHURI
f Fisika Non Teknologi Jilid 1 untuk SMK /oleh MASHURI ----
Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan,
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah,
Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
viii. 177 hlm
Daftar Pustaka : A1
Glosarium : B1-B5
ISBN : 978-602-8320-23-8
978-602-8320-24-5

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 kehadiran 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 khususnya 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

Untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia, peningkatan, pengembangan dan pembinaan terhadap pelaksanaan pendidikan nasional merupakan hal yang paling penting. Di pihak lain perkembangan industri dan tatanan masyarakat lain sebagai pengguna tenaga manusia terdidik terus berkembang sesuai dengan perubahan di segala bidang sehingga diperlukan penyedia sumber daya manusia yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Pemenuhan tenaga terdidik yang berkualitas bergantung pada pola pendidikan, dimana proses pendidikan yang baik harus selalu dilakukan perbaikan di semua jenjang pendidikan baik dari tingkat dasar, menengah dan tinggi.

Jenjang pendidikan menengah merupakan jenjang yang menjadi pembentukan karakter bagi anak didik yang nantinya akan menentukan keberhasilan suatu bangsa, dimana dari jenjang inilah dimulainya klasifikasi kompetensi diri untuk mengisi sejumlah bidang kehidupan di masyarakat umumnya maupun secara spesifik bidang sains, teknologi, ekonomi, agama dan sosial budaya. Pendidikan menengah terdiri sekolah menengah umum, sekolah menengah keagamaan dan sekolah menengah kejuruan. Secara khusus sekolah menengah kejuruan dipersiapkan untuk mendidik siswa menjadi tenaga terampil dan praktis sesuai kompetensinya yang nantinya disalurkan pada jenjang pendidikan tinggi yang serumpun.

Bersamaan perubahan perkembangan jaman dengan dibukanya peluang bagi semua siswa lulusan dari berbagai jenis sekolah menengah, baik yang bersifat sekolah menengah umum, kejuruan ataupun keagamaan, agar siswa lulusannya mampu berkompetisi masuk di perguruan tinggi, maka sebagai konsekuensinya 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 khususnya kompetensi non teknologi, maka pihak Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah dan Kejuruan Depdiknas melakukan kerjasama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Karena ITS dipandang telah memiliki pengalaman dalam membina mahasiswa baru yang berasal dari kelompok sekolah menengah kejuruan untuk ikut program pembenahan tersebut.

Kebijakan pencanangan tahun 2015 oleh pemerintah agar perbandingan jumlah siswa SMU terhadap SMK menjadi 30 : 70

DAFTAR ISI

Halaman Depan	
Kata Sambutan	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	
BUKU JILID 1	
BAB 1 Besaran dan Satuan	1
Peta Konsep	2
Pra Syarat	4
Cek Kemampuan	4
1.1. Pengukuran	4
1.2. Melaporkan Hasil pengukuran	7
1.3. Besaran dan Satuan	8
1.4. Standar Satuan Besaran	9
1.5. Macam Alat Ukur	12
1.6. Konversi Satuan	20
1.7. Dimensi	22
1.8. Angka Penting	23
1.9. Notasi Ilmiah (Bentuk Baku)	24
1.10. Vektor	25
1.11. Rangkuman	31
1.12. Tugas Mandiri	31
1.13. Soal Uji Kompetensi	
BAB 2 Menerapkan Hukum Gerak Dan Gaya	38
Peta Konsep	39
Prasyarat	40
Cek Kemampuan	40
2.1. Gerak dan Gaya	41
2.2. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLB)	42
2.3. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)	44
2.4. Hukum - Hukum Newton Tentang Gerak	49
2.5. Gerak Benda Yang Dihubungkan Dengan Katrol	54
2.6. Benda Bergerak Pada Bidang Miring	55
2.7. Gaya Gesek	56

2.8. Gerak Melengkung	59
Kegiatan	74
Rangkuman	76
Soal Uji Kompetensi	77
BAB 3 Dinamika Rotasi dan Kesetimbangan	
Benda Tegar	80
Peta Konsep	81
Dinamika Rotasi	82
Cek Kemampuan Prasyarat	82
3.1. Kecepatan Dan Percepatan Angular	82
3.2. Pemecahan Masalah Dinamika Rotasi	96
3.3. Titik Berat	99
Rangkuman	101
Soal Kompetensi:	102
BAB 4 Usaha dan Energi	106
Peta Konsep	107
Prasyarat	108
Cek Kemampuan	108
4.1. Usaha	108
4.2. Daya	111
4.3. Konsep Energi	112
4.4. Energi Mekanik	115
4.5. Kerja Oleh Gaya Konservatif Dan Oleh Gaya Non Konservatif.	116
Kegiatan	118
Rangkuman	119
Soal Uji Kompetensi	120
BAB 5 Momentum dan Impuls	122
Peta Konsep	123
Prasyarat	124
Cek Kemampuan	124
5.1. Pengertian Momentum Dan Impuls	124
5.2. Impuls sebagai perubahan Momentum	125
5.3. Hukum Kekekalan Momentum	126
5.4. Tumbukan	128
Kegiatan	130
Rangkuman	131
Soal Uji Kompetensi	131

BAB 6 Suhu dan Kalor	135
Peta Konsep	136
Pengukuran Temperatur	137
6.1. Temperatur Gas Ideal, Termometer Celcius, Dan Termometer	137
6.2. Tekanan	138
6.3. Asas Black Dan Kalorimetri	139
6.4. Hantaran Kalor.	140
6.5. Hantara Kalor	142
Soal-Soal Dengan Penyelesaiannya	143
BAB 7 Dinamika Fluida	149
Peta Konsep	
Prasyarat	
Cek kemampuan	
7.1. Fluida Statis	151
7.2. Tegangan Permukaan Dan Viskositas Zat Cair	157
7.3. Dinamika Fluida	161
7.4. Aliran Viscous (Aliran Kental)	173
Rangkuman	175
Soal Kompetensi	176
BUKU JILID 2	
BAB 8 Getaran, Gelombang dan Bunyi	178
Peta Konsep	179
Prasyarat	180
Cek Kemampuan	181
8.1. Hakekat Getaran	181
8.2. Persamaan Simpangan Getaran	188
8.3. Energi Getaran	189
8.4. Hakekat Gelombang	197
8.5. Kecepatan Rambat Gelombang	202
8.6. Persamaan Gelombang	205
8.7. Gelombang Bunyi	207
8.8. Efek Doppler	215
8.9. Rangkuman	218
8.10. Soal / Uji Kompetensi	218
BAB 9 Medan Magnet	222

Peta Konsep	223
Pra Syarat	224
Cek Kemampuan	224
9.1. Uraian Dan Contoh Soal	224
9.2. Induksi Magnet	225
9.3. Medan Magnet Oleh Arus Listrik	227
9.4. Gerak Muatan Listrik Dan Medan Magnet	231
9.5. Kumparan Dalam Medan Magnet	233
9.6. Pemakaian Medan Magnet	236
9.7. Alat-Alat Ukur Listrik	239
9.8. Gelombang Elektromagnetik	241
9.9. Intensitas Gelombang Elektromagnetik	242
9.10. Uji Kompetensi	246
BAB 10 Rangkaian Arus Searah	250
Peta Konsep	251
Cek Kemampuan	252
10.1 Arus Searah Dalam Tinjau Mikroskopis	253
10.2. Hukum Ohm	259
10.3. Ggl Dan Resistansi Dalam	260
10.4. Hukum Kirchhoff	263
10.5. Sambungan Resistor	266
10.6. Sambungan Seri	266
10.7. Sambungan Paralel	267
10.8. Soal Uji Kompetensi	291
10.9. Rangkuman	298
BAB 11 Arus Bolak-Balik	300
Peta Konsep	301
Cek Kemampuan	302
11.1. Resistor Dalam Rangkaian Sumber Tegangan Searah	303
11.2. Gejala Peralihan Pada Induktor	305
11.3. Gejala Transien Pada Kapasitor	308
11.4. Sumber Tegangan Bolak Balik	313
11.5. Resistor Dalam Rangkaian Sumber Tegangan Bolak Balik	315
11.6. Nilai Root–Means–Squared (Rms) Untuk Tegangan Dan Arus Bolak Balik	317
11.7. Daya Dalam Rangkaian Arus Bolak Balik	318
11.8. Induktor Dalam Rangkaian Arus Bolak Balik	319
11.9. Kapasitor dalam rangkaian arus bolak-balik	321

11.10. Rangkaian RLC - seri	323
11.11. Impedansi	324
11.12. Perumusan Impedansi Rangkaian RL–Seri	328
11.13. Perumusan Impedansi Rangkaian RC–Seri	329
11.14. Perumusan Impedansi Rangkaian RLC–Seri	331
11.15. Resonansi pada rangkaian RLC- seri	332
11.16. Ringkasan Rangkaian RLC – seri dalam arus Bolak-balik	333
11.17. Rangkuman	346
11.18. Soal Uji Kompetensi	348
<i>Daftar Pustaka</i>	<i>A1</i>
<i>Glosarium</i>	<i>B1</i>

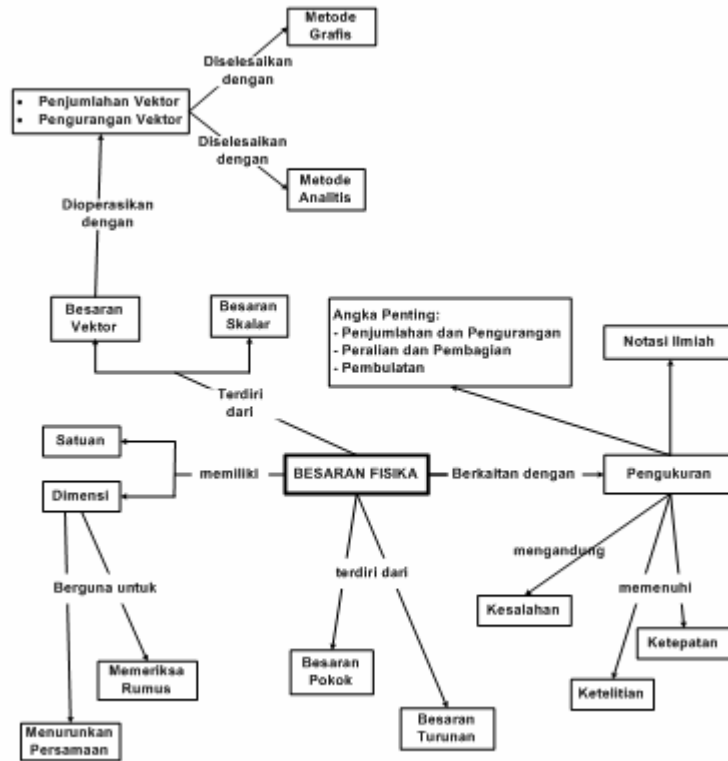
BAB 1 BESARAN DAN SATUAN



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

Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak terlepas dari persoalan mengukur suatu benda, karena pengukuran 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 memungkinkan kita berkomunikasi dengan orang lain dan juga untuk membandingkan hasil pengukuran kita.

PETA KONSEP



“halaman ini sengaja di kosongkan”

Pra Syarat

Agar dapat mempelajari bab ini dengan baik, Anda diharapkan sudah dapat 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 vector!

1.1 Pengukuran

Pengukuran adalah kegiatan membandingkan suatu besaran dengan besaran sejenis yang ditetapkan sebagai satuan. Hasil pengukuran selalu mengandung dua hal, yakni: **kuantitas** atau **nilai** dan **satuan**. Di dalam fisika, segala sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka disebut dengan **besaran**. Sebagai contoh, kesetiaan dan kebaikan dapat diukur, tetapi tidak dapat dinyatakan dengan angka, sehingga kesetiaan dan kebaikan bukan besaran fisika.

Nilai suatu besaran dinyatakan dalam sebuah satuan yang dituliskan mengikuti nilai besaran tersebut. Sebagai contoh dalam sebuah pengukuran massa badan siswa Kelas 1 SMK 1 Mojopahit didapatkan bahwa siswa terbesar adalah 170 kilogram dan yang teringan adalah 35 kilogram. Angka 170 dan 35 disebut nilai besaran, sedangkan kilogram disebut **satuan**.

1.1. 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 Sistematis

Ketidakpastian sistematis 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 sistematis antara lain:

- **Ketidakpastian Alat**

Ketidakpastian ini muncul akibat kalibrasi skala penunjukan angka pada alat tidak tepat, sehingga pembacaan skala menjadi tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Misalnya, kuat arus listrik yang melewati suatu hambatan listrik sebenarnya 1,0 ampere, tetapi bila diukur menggunakan suatu amperemeter tertentu selalu terbaca 1,2 ampere. Karena selalu ada penyimpangan yang sama, maka dikatakan bahwa amperemeter itu memberikan ketidakpastian sistematis sebesar 0,2 ampere. Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, alat harus dikalibrasi setiap akan digunakan.

- **Kesalahan Nol**

Ketidaktepatan penunjukan alat pada skala nol juga menyebabkan ketidakpastian sistematis. 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**

Ketidaktepatan 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 getaran 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**

Ketidaktepatan pengukuran ini muncul karena kondisi alat ukur dipengaruhi oleh kejadian yang hendak diukur. Misal, mengukur nilai penguatan transistor saat dilakukan penyolderan, atau mengukur panjang sesuatu pada suhu tinggi menggunakan mistar logam. Hasil yang diperoleh

tentu bukan nilai yang sebenarnya karena panas mempengaruhi objek yang diukur maupun alat pengukurnya.

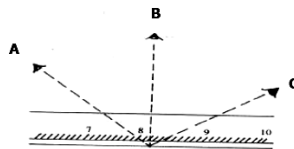
2. Ketidakpastian Random (Acak)

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 seperti 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.

1.2. Melaporkan hasil pengukuran

Dalam 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 selang waktu kelahiran bayi kembar, atau 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 gores 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.

1.3 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)**.

Di dalam Sistem Internasional dikenal dua besaran berdasarkan sistem generiknya, 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 \times lebar \times tinggi	m ³	[L ³]
Kecepatan	Perpindahan/waktu	m.s ⁻¹	[LT ⁻¹]
Momentum	Massa \times kecepatan	kg.m.s ⁻¹	[MLT ⁻¹]

Satuan besaran turunan di samping diperoleh dari penjabaran satuan besaran pokok yang terkait, satuan besaran turunan sering juga diambil dari nama orang yang berjasa dibidang tersebut. Sebagai contoh, satuan gaya adalah kg.m.s⁻² sering dinyatakan dengan newton, satuan usaha adalah kg.m².s⁻² sering dinyatakan dengan joule.

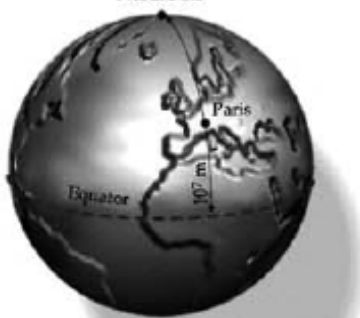
1.4 Standar Satuan Besaran

❖ 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 15 cm dan diameternya 6 cm, jarak kota A ke kota B adalah 1000 meter.

Satu meter (1 m) pada awalnya didefinisikan sebagai dua goresan pada batang meter standar yang terbuat dari campuran platinum-iridium yang disimpan di the International Bureau of Weights and Measures (Sevres, France). Jarak yang ditetapkan untuk satu meter adalah jarak antara equator dan kutub utara sepanjang meridian melalui Paris sebesar 10 juta meter, seperti terlihat pada Gambar 1.2.

Pada tahun 1960, 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 pernah 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 massa adalah massa sebuah silinder platinum-iridium yang disimpan di lembaga Berat dan Ukuran Internasional dan berdasarkan perjanjian internasional disebut sebagai massa satu kilogram. Standar sekunder dikirimkan ke laboratorium standar di berbagai negara dan massa dari benda-benda lain dapat ditentukan dengan menggunakan neraca ber lengan-sama dengan ketelitian 2 bagian dalam 10^8 .

❖ Standar untuk Satuan Waktu

Standar untuk satuan waktu adalah sekon (s) atau detik. Standar waktu yang masih dipakai sekarang didasarkan pada hari matahari rata-

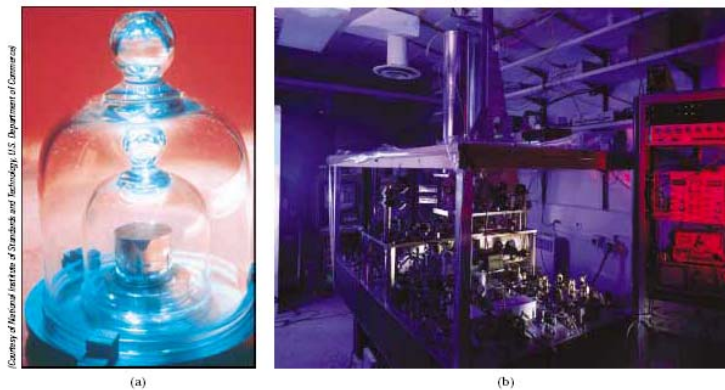
rata. Satu sekon atau satu detik didefinisikan sebagai selang waktu yang diperlukan oleh atom cesium-133 untuk melakukan getaran sebanyak 9.192.631.770 kali dalam transisi antara dua tingkat energi di tingkat energi dasarnya.

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 = $6,25 \cdot 10^{18}$ elektron) yang melewati suatu penampang dalam 1 detik.
2. Suhu titik lebur es pada 76 cm Hg adalah $T = 273,15 \text{ } ^\circ\text{K}$, Suhu titik didih air pada 76 cm Hg adalah $T = 373,15 \text{ } ^\circ\text{K}$.
3. Satuan kandela adalah benda hitam seluas 1 m^2 yang bersuhu lebur platina (1773°C) akan memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar 6×10^5 kandela.
4. Satu mol zat terdiri atas $6,025 \times 10^{23}$ buah partikel. ($6,025 \times 10^{23}$ disebut dengan bilangan Avogadro).



Gambar 1.3 a) Kilogram standar No.20 yang disimpan di NIST (National Institute of Standards and Technology) di Amerika Serikat . Kilogram standar berupa silinder platinum, disimpan di bawah dua kubah kaca berbentuk lonceng. b) Standar frekuensi atomic 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

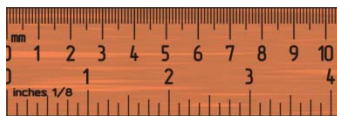
Faktor	Awalan	Simbol	Faktor	Awalan	Simbol
10^1	deka (<i>deca</i>)	da	10^{-1}	desi (<i>deci</i>)	d
10^2	hekto (<i>hecto</i>)	h	10^{-2}	senti (<i>centi</i>)	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili (<i>milli</i>)	m
10^6	Mega	M	10^{-6}	mikro (<i>micro</i>)	μ
10^9	Giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	piko (<i>pico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

1.5 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)



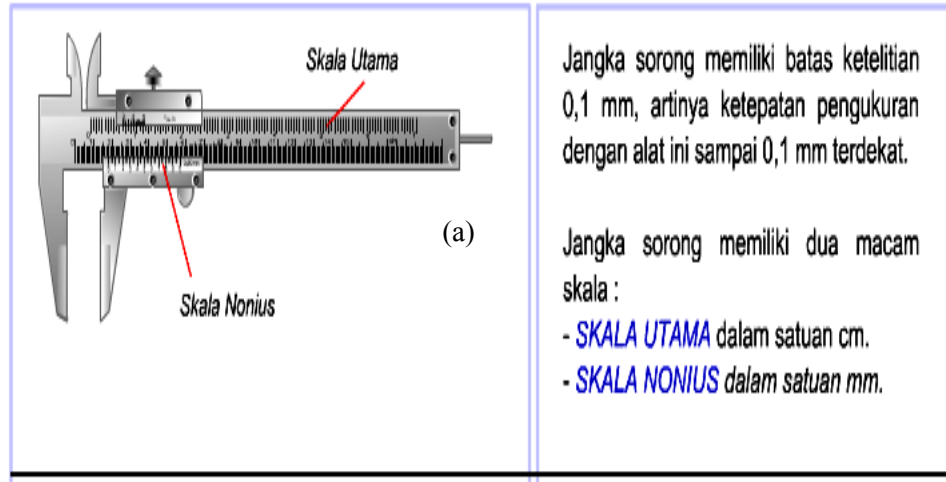
(b)

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

B. Jangka Sorong

Dalam prakteknya, 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.

Skala Utama dan Skala Nonius



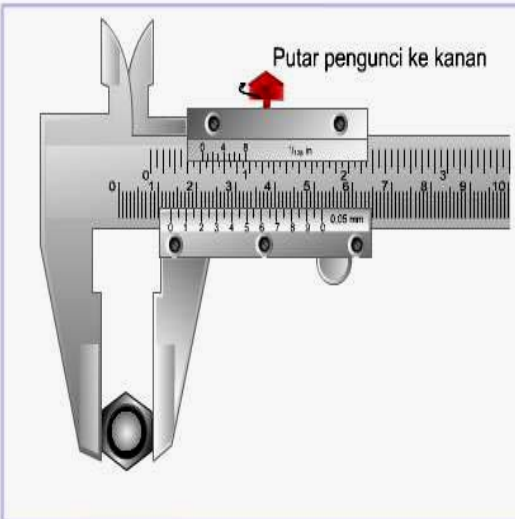
Cara membaca skala



(b)

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

Kegiatan 1: **Mengukur Diameter Luar Benda**



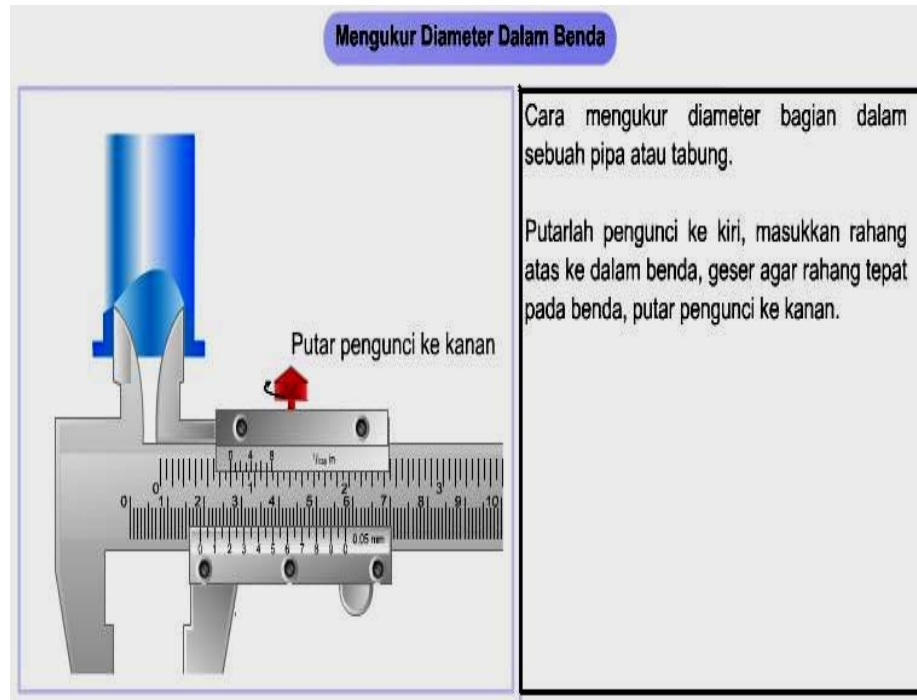
Cara mengukur diameter, lebar atau ketebalan benda:

Putarlah pengunci ke kiri, buka rahang, masukkan benda ke rahang bawah jangka sorong, geser rahang agar rahang tepat pada benda, putar pengunci ke kanan.

Tugas:

Coba ulangi langkah-langkah kegiatan 1 dengan dua macam benda yang berbeda.

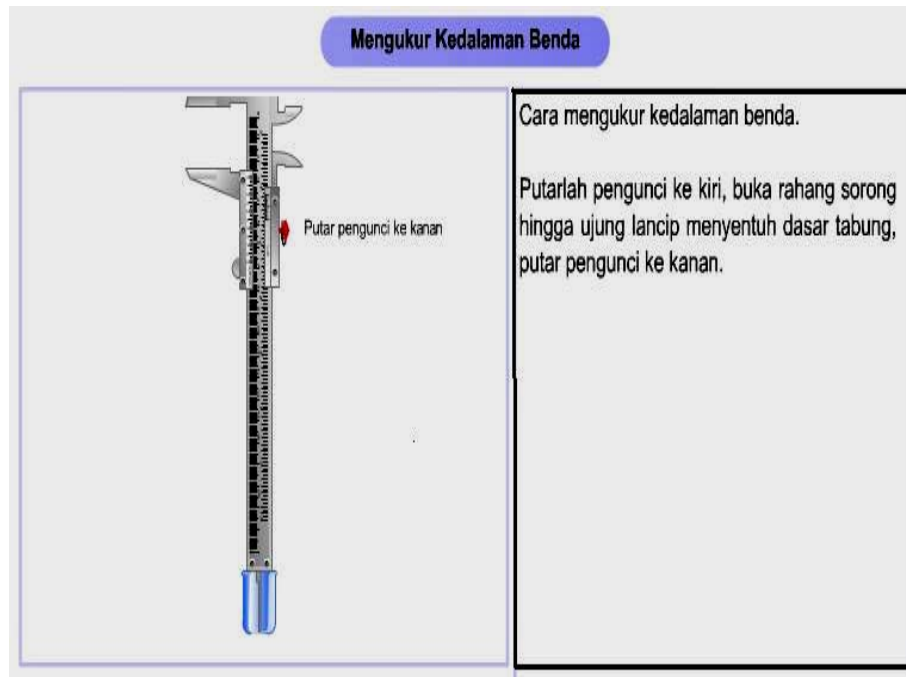
- Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang Anda ukur.
- Nyatakan hasil yang Anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 2:Tugas:

Coba ulangi langkah-langkah 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 langkah-langkah 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 0,01 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.edukasi.net>)

Kegiatan 4: Pembacaan skala diameter ulir



Tugas:

Coba ulangi kegiatan 4 dengan dua macam benda yang berbeda.

- Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang Anda ukur.
- Nyatakan hasil yang Anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 5: Pembacaan skala ketebalan benda

PEMBACAAN SKALA



Pembacaan skala mikrometer:

- Perhatikan skala putar berada pada angka berapa pada skala utama.
Benda yang anda pilih memiliki panjang skala utama 2 mm
- Perhatikan penunjukan pada skala putar.
Angka 43 pada skala putar berimpit dengan garis mendatar pada skala utama.

Maka pembacaan mikrometer tersebut =
 $2 + (43 \times 0,01)$
 $2 + 0,43$
 jadi panjang benda adalah 2.43 mm

Tugas:

Coba ulangi Kegiatan 5 dengan dua macam benda yang berbeda.

- Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang Anda ukur.
- Nyatakan hasil yang Anda dapat dengan satuan cm dan mm.

Kegiatan 6: Pembacaan skala diameter mur

PEMBACAAN SKALA



Pembacaan skala mikrometer:

- Perhatikan skala putar berada pada angka berapa pada skala utama.
Benda yang anda pilih memiliki panjang skala utama 4.5 mm
- Perhatikan penunjukan pada skala putar.
Angka 39 pada skala putar berimpit dengan garis mendatar pada skala utama.

Maka pembacaan mikrometer tersebut =
 $4.5 + (39 \times 0,01)$
 $4.5 + 0,39$
 jadi panjang benda adalah 4.89 mm

Tugas:

Coba ulangi kegiatan 6 dengan dua macam benda yang berbeda.

- Catat berapa skala utama dan skala nonius untuk setiap benda yang Anda ukur.
- Nyatakan hasil yang Anda dapat dengan satuan cm dan mm.

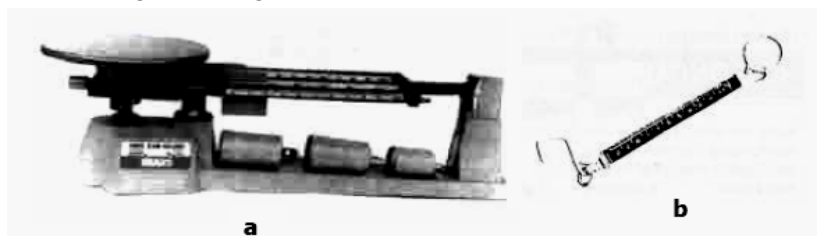
Alat Ukur Massa

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 dibandingkan ketika berada di Bumi, karena percepatan gravitasi Bulan lebih kecil dibandingkan percepatan 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.

$$1 \text{ ton} = 10 \text{ kuintal} = 1.000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g} = 10 \text{ ons}$$



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.

1 hari = 24 jam;

1 jam = 60 menit;

1 menit = 60 sekon

Sedangkan, untuk kejadian-kejadian yang cepat sekali bisa digunakan satuan milisekon (ms) dan mikrosekond (μ s). 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).

1.6. Konversi Satuan

Dengan adanya beberapa 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 = 3 ft = 36 in

1 in = 0,0254 m = 2,54 cm

1 mile = 1609 m

1 mikron = 10^{-6} m

1 Angstrom = 10^{-10} m

Massa

Luas

1 ft² = $9,29 \times 10^{-2}$ m²

1 are = 100 m²

Volume

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

Massa Jenis

1 lb/ft³ = 16,0185 kg/m³

Gaya

1 lbf = 4,448 N
 1 dyne = 10⁻⁵ N
 1 kgf = 9,807 N

Energi

1 BTU = 1055 J = 252 kal
 1 kal = 4,186 J
 1 ft lb = 1,356 J
 1 hp jam = 2,685 x 10⁶ J
 1 erg = 10⁻⁷ J

1 liter = 10⁻³ m³
 1 ft³ = 2,832 x 10⁻² m³
 1 gallon (UK) = 4,546 liter
 1 gallon (US) = 3,785 liter
 1 barrel (UK) = 31,5 gallon
 1 barrel (US) = 42 gallon

Kecepatan

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

Tekanan

1 atm = 76 cm Hg
 = 1,013 x 10⁵ N/m²
 = 1013 millibar
 = 14,7 lb/in²
 1 Pa = 1 N/m²
 1 bar = 10⁶ dyne/cm²
 = 10⁵ Pa

Daya

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

Contoh Soal 1:

Kapal pesiar Panji Asmara melaju dari pelabuhan Tanjung Priok ke pelabuhan Tanjung Emas dengan kecepatan rata-rata 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/sekon, 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 32,4 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.

1.7 Dimensi

Untuk menyederhanakan pernyataan suatu besaran turunan dengan besaran pokok digunakan dengan simbol yang disebut *dimensi* besaran, lihat Tabel 1.1. Apabila suatu persamaan fisika terdiri dari banyak suku yang berisi besaran-besaran, maka setiap suku tersebut harus berdimensi sama.

Contoh Soal 3:

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

Penyelesaian:

(a). Satuan (SI) tekanan adalah newton/m², dengan newton = kg m/s² yang berdimensi MLT⁻² dan m² berdimensi L² maka dimensi

$$\text{tekanan adalah: } \frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$$

(b). Satuan daya (SI) adalah watt = joule/sekon, dengan joule = newton.meter sehingga dimensi daya adalah MLT⁻².L = ML² T⁻².

(c). Kecepatan anguler mempunyai rumus:

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

Kegunaan dimensi adalah:

- Mengungkapkan adanya kesamaan atau kesetaraan antara dua besaran yang kelihatannya berbeda.
- Menyatakan benar tidaknya suatu persamaan yang ada hubungannya dengan besaran fisika.

1.8 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:

- Semua angka yang bukan nol adalah angka penting.
Contoh: 72,753 (5 angka penting).
- Semua angka nol yang terletak di antara angka-angka bukan nol adalah angka penting.
Contoh: 9000,1009 (9 angka penting).
- Semua angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir, tetapi terletak di depan tanda desimal adalah angka penting.
Contoh: 30000 (5 angka penting).
- 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).
- 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).
- 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:

- 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: 2,68

(Untuk penambahan/pengurangan perhatikan angka di belakang koma yang paling sedikit).

13,46 angka 6 = angka taksiran
 $\underline{2,2347}$ - 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)
 $\underline{0,22} \times$ (dua angka penting)
 1,79102
Penulisannya: 1,79102 ditulis 1,8 (dua angka penting)

1,432 (empat angka penting)
 $\underline{2,68} :$ (tiga angka penting)
 0,53432

Penulisannya: 0,53432 di tulis 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) \rightarrow 24,5
 b) 56,635 (5 angka penting) \rightarrow 56,6
 c) 73,054 (5 angka penting) \rightarrow 73,1
 d) 33,127 (5 angka penting) \rightarrow 33,1

1.9 Notasi Ilmiah (Bentuk Baku)

Untuk mempermudah penulisan bilangan-bilangan yang besar dan kecil digunakan *Notasi Ilmiah* atau *Cara Baku*.

$$R \cdot 10^x$$

dengan: R (angka-angka penting)

10^x disebut orde

x bilangan bulat positif atau negatif

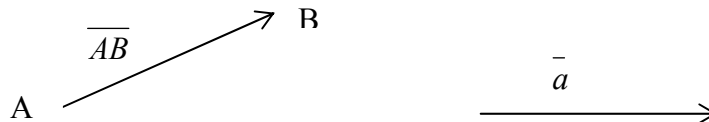
Contoh: - Massa bumi = $5,98 \cdot 10^{24}$ (tiga angka penting)
 - Massa elektron = $9,1 \cdot 10^{-31}$ (dua angka penting)
 - 0,00000435 = $4,35 \cdot 10^{-6}$ (tiga angka penting)
 - 345000000 = $3,45 \cdot 10^8$ (tiga angka penting)

1.10. Vektor

Mari kita pandang sebuah perahu yang mengarungi sebuah sungai. Perahu itu, misalnya, berangkat dari dermaga menuju pangkalan bahan bakar. Jika dermaga dipakai sebagai titik pangkal posisi perahu, maka dikatakan bahwa perahu berpindah dari titik pangkal ke titik lain di mana pangkalan berada. Arah perpindahannya tertentu, sehingga perpindahan mengandung unsur jarak dan arah gerak. Menurut ilmu fisika dikatakan bahwa besaran seperti perpindahan ini disebut **vektor**. Jarak antara dermaga dan pangkalan tidak dipengaruhi arah dan disebut besaran **skalar**.

Dengan kata lain, dalam fisika, besaran dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu besaran yang hanya dinyatakan dengan nilai dan satuannya yang disebut *besaran skalar* dan besaran yang dinyatakan dengan nilai, satuan beserta arahnya yang disebut *besaran vektor*. Contoh besaran fisis lain yang merupakan besaran skalar adalah massa, 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, dan momentum. Perhitungan besaran-besaran vektor harus menggunakan aturan yang dikenal dengan operasi vektor.

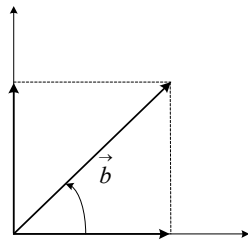
Vektor secara visual digambarkan berupa garis lurus beranak panah, dengan panjang garis menyatakan besar vektor dan arah panah menyatakan arah vektor, lihat Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Gambar vektor \overline{AB} dan vektor \vec{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 b_x (pada arah sumbu x) dan b_y (pada arah sumbu y) seperti Gambar 1.10.



$b_x = b \cos \theta$ dan $b_y = b \sin \theta$ dan besar vektor $|\vec{b}| = b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2}$ serta arah vektor \vec{b} terhadap sumbu x positif dapat dihitung dengan rumus $\tan \theta = \frac{b_y}{b_x}$.

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: $b_x = b \cos \alpha$, $b_y = b \cos \beta$, $b_z = b \cos \gamma$ dan besar vektor $\vec{b} = \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}$ serta arah-arah vektor \vec{b} berturut-turut terhadap sumbu x, y dan z dapat dihitung dengan:

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

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

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

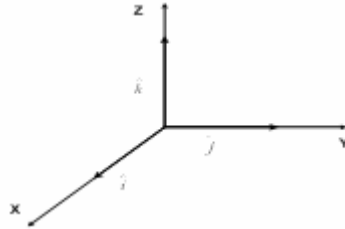
b_x **X**

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

Gambar 1.11 Komponen vektor dalam ruang

Suatu vektor dapat dituliskan dengan besar vektor dikalikan vektor satuannya, dengan *vektor satuan* adalah vektor yang panjangnya satu satuan yang berarah sama dengan vektor tersebut. Contoh adalah vektor \hat{b} Sehingga vektor \vec{b} yang digambarkan pada Gambar 1.11 dapat dituliskan sebagai berikut: $\vec{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k}$.
Notasi seperti ini memudahkan untuk melakukan operasi vektor .

$= \hat{b} \cdot b$, dengan \hat{b} disebut vektor satuan \bar{b} dan b besar dari vektor tersebut. 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.



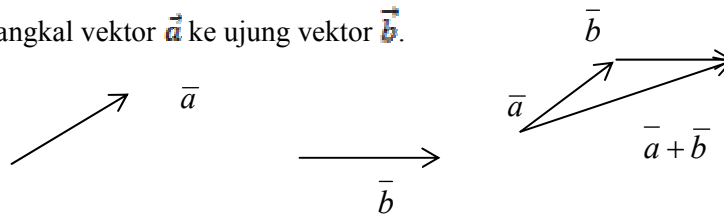
Gambar 1.12 Vektor satuan dalam koordinat kartesian

B. Operasi Vektor

B.1 Penjumlahan Vektor

Penjumlahan Vektor dengan Metode Grafis

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



Gambar 1.13 Penjumlahan vektor \bar{a} dan vektor \bar{b}

Penjumlahan Vektor dengan Metode Analitis

Apabila dinyatakan 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:

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

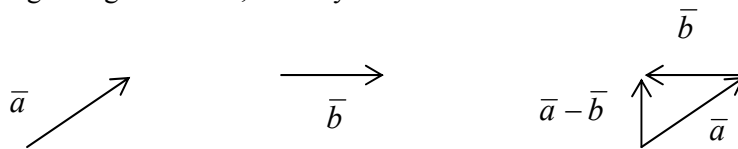
dan yang dapat dioperasikan penjumlahan adalah *komponen-komponen vektor yang sejajar*.

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

B.2 Pengurangan Vektor

Pengurangan Vektor dengan Metode Grafis

Dua vektor \vec{a} dan \vec{b} besarnya sama tetapi arahnya berlawanan maka vektor \vec{a} dinamakan juga dengan vektor negatif dari vektor \vec{b} atau sebaliknya. Untuk itu pengurangan dua vektor adalah penjumlahan vektor dengan negatif vektor, misalnya:



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

Pengurangan Vektor dengan Metode Analitis

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

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

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).

- Hitung besar dan arah vektor \overline{MN} .
- Hitung besar dan arah vektor $\overline{MN} + \overline{MP}$.
- 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 $\vec{M}, \vec{N}, \vec{P}$ adalah:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Contoh Soal 5:

Dua buah 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:

Diketahui: $F_1 = 24 \text{ N}$
 $F_2 = 7 \text{ N}$

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. $F_3 = F_1 + F_2 = 24 + 7 = 31 \text{ N}$

b. $F_3 = F_1 - F_2 = 24 - 7 = 17 \text{ N}$

c. $F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{625} = 25 \text{ N}$

d. $F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos 53^0} = \sqrt{826,6} = 28,75 \text{ N}$

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/poligon, tetapi vektor \vec{a} dilukis lebih dahulu.
 - b) Lukis jumlah vektor $\vec{y} = \vec{b} + \vec{a}$, dengan metode grafis/poligon, 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 $\vec{q} = \vec{b} - \vec{a}$.

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/poligon ataukah metode jajargenjang? Berikan alasan Anda.

Rangkuman

Dari uraian di atas dapat kita rangkum 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. Vektor dapat dioperasikan menurut aljabar vektor yang di dalamnya, di antaranya, tercakup operasi penjumlahan, pengurangan (menggunakan metode grafis atau analitis).

Tugas Mandiri

1. Carilah dimensi besaran-besaran berikut ini:
 - a. Kecepatan ($v = \text{jarak tiap satuan waktu}$)
 - b. Percepatan ($a = \text{kecepatan tiap satuan waktu}$)
 - c. Gaya ($F = \text{massa} \times \text{percepatan}$)
 - d. Usaha ($W = \text{Gaya} \times \text{jarak perpindahan}$)
 - e. Daya ($P = \text{Usaha tiap satuan luas}$)
 - f. Tekanan ($P = \text{Gaya tiap satuan luas}$)
 - g. Momen Inersia ($I = \text{massa} \times \text{jarak kuadrat}$)
 - h. Impuls (Impuls = gaya \times waktu)
 - i. Momentum ($M = \text{Massa} \times \text{kecepatan}$)
 - j. Energi kinetik ($E_k = 1/2 m v^2$)
 - k. Energi Potensial ($E_p = mgh$)

- l. Jika diketahui bahwa:

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

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

Carilah: dimensi konstanta gravitasi.

- m. Percepatan gravitasi (g = gaya berat: massa)
 n. Jika diketahui bahwa:

$$P \cdot V = n R \cdot T$$

P = tekanan; V = volume; n menyatakan jumlah mol;

T = suhu dalam Kelvin ($^{\circ}\text{K}$); R = tetapan gas

Carilah: dimensi R

2. Sebutkanlah alat-alat ukur yang kamu ketahui dan carilah kegunaan serta batas ketelitian 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. $2,3 \cdot 10^{-7}$ |
| c. 1,200 | f. 2500,0 | i. 200000,3 |
4. Rubahlah satuan-satuan di bawah ini, ditulis dalam bentuk baku.
- | |
|---|
| a. $27,5 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots \text{ cm}^3$ |
| b. $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = \dots\dots\dots \text{ mg}$ |
| c. $10 \text{ m/det} = \dots\dots\dots \text{ km/jam}$ |
| d. $72 \text{ km/jam} = \dots\dots\dots \text{ m/det}$ |
| e. $2,7 \text{ newton} = \dots\dots\dots \text{ dyne}$ |
| f. $5,8 \text{ joule} = \dots\dots\dots \text{ erg}$ |
| g. $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ g/cm}^3 = \dots\dots\dots \text{ kg/m}^3$ |
| h. $3 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3 = \dots\dots\dots \text{ g/cm}^3$ |
| i. $2,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 = \dots\dots\dots \text{ dyne/cm}^2$ |
| j. $7,9 \text{ dyne/cm}^3 = \dots\dots\dots \text{ N/m}^3$ |
| k. $0,7 \cdot 10^{-8} \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ mikro}$ |
| l. $1000 \text{ kilo joule} = \dots\dots\dots \text{ mikro joule} = \dots\dots\dots \text{ Giga Joule}$ |
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. $2,731 + 8,65 = \dots$ |
| b. $567,4 - 387,67 = \dots$ |

- c. $32,6 + 43,76 - 32,456 = \dots$
- d. $43,54 : 2,3 = \dots$
- e. $2,731 \times 0,52 = \dots$
- f. $21,2 \times 2,537 = \dots$
- g. $57800 : 1133 = \dots$
- h. $4,876 + 435,5467 + 43,5 = \dots$
- i. $3,4 + 435,5467 + 43,5 = \dots$
- j. $1,32 \times 1,235 + 6,77 = \dots$

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, intensitas 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 kecepatan
 - 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 cm 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. Dari hasil pengukuran panjang, lebar dan tinggi suatu balok adalah 5,70 cm, 2,45 cm dan 1,62 cm. Volume balok dari 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 amper
 - E. Volt 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 mm²
- A. 69,7748
 - B. 69,78
 - C. 69,7
 - D. 69,9
 - E. 69,8
17. Vektor $F_1 = 20$ N berimpit sumbu x positif, vektor $F_2 = 20$ N bersudut 120° terhadap F_1 dan $F_3 = 24$ N bersudut 240° terhadap F_1 . Resultan ketiga gaya pada pernyataan di atas adalah:
- A. 4 N searah F_3
 - B. 4 N berlawanan arah dengan F_3
 - C. 10 N searah F_3
 - D. 16 N searah F_3
 - E. 16 N berlawanan arah dengan F_3
18. Sebuah perahu menyeberangi sungai yang lebarnya 180 meter dan kecepatan arus airnya 4 m/s. Bila perahu diarahkan menyilang tegak lurus sungai dengan kecepatan 3 m/s, maka setelah sampai di seberang perahu telah menempuh lintasan sejauh meter
- A. 100
 - B. 240
 - C. 300
 - D. 320
 - E. 360

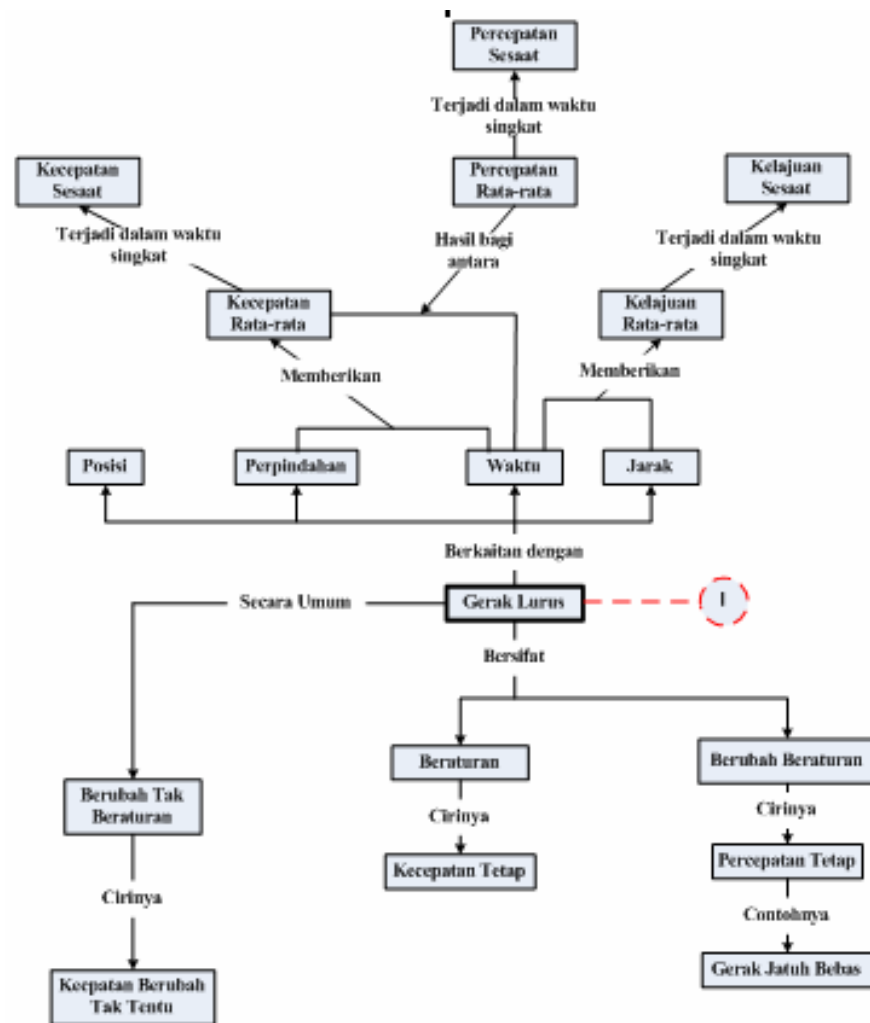
19. Dua buah vektor V_1 dan V_2 masing-masing besarnya 20 satuan dan 15 satuan. Kedua vektor tersebut membentuk sudut 120° . Resultan kedua gaya tersebut mendekati
- A. 18
 - B. 30
 - C. 35
 - D. 38
 - E. 48
20. Jika sebuah vektor 12 N diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus dan yang sebuah dari padanya membentuk sudut 30° dengan vektor itu, maka besar masing-masing adalah:
- A. 3 N dan $3\sqrt{3}N$
 - B. 3 N dan $3\sqrt{2}N$
 - C. 6 N dan $3\sqrt{2}N$
 - D. 6 N dan $6\sqrt{2}N$
 - E. 6 N dan $6\sqrt{3}N$

BAB 2 PENERAPAN HUKUM GERAK DAN GAYA



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. Dalam bab ini, kita akan berdiskusi dan belajar tentang gerak suatu benda tanpa memperhatikan gaya penyebabnya dan memperhatikan gaya penyebabnya benda tersebut bergerak serta menguraikan tentang gaya-gaya bekerja pada suatu benda.

PETA KONSEP

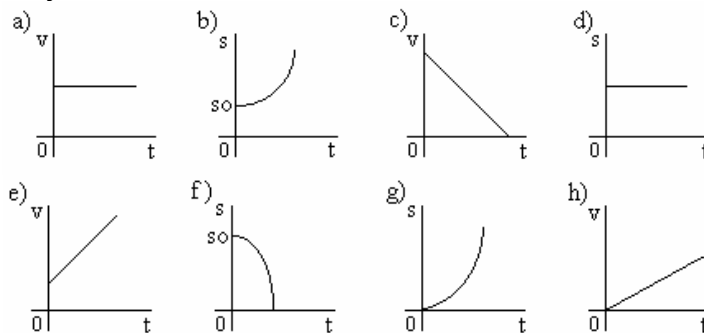


Pra Syarat

1. Mengetahui perbedaan antara besaran vektor dan besaran skalar, menguasai operasi penjumlahan vektor dan selisih vektor.
2. Menguasai lebih dahulu berbagai konsep tentang gerak lurus, baik gerak lurus beraturan maupun gerak lurus berubah beraturan. Juga 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 ditempuh selama 7 jam?
 - c. Dengan kecepatan rata-rata tersebut, berapa waktu 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 arah gerak yang besarnya 2,25 N mulai bekerja pada benda tersebut, sehingga setelah 6 detik benda tersebut berhenti. Hitunglah gaya K.

4. Benda massanya 10 kg tergantung pada ujung kawat. Hitunglah besar tegangan kawat, jika:
 - a. Benda bergerak ke atas dengan percepatan 5 m/s^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 acuan (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 gaya penyebabnya, sedangkan *dinamika* adalah ilmu yang mempelajari gerak dengan memperhitungkan gaya-gaya penyebabnya dan gaya interaksi benda dengan tempat benda bergerak (misal gaya gesekan bila ada).

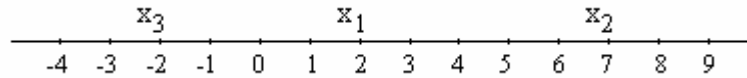
Jarak dan Perpindahan

Mobil bergerak dari P ke Q menempuh jarak 100 km, berarti mobil tersebut telah menempuh panjang lintasannya dihitung dari P (posisi awal) ke Q (posisi akhir) adalah sejauh 100 km. Dapat disimpulkan, **jarak** adalah merupakan panjang lintasan yang ditempuh oleh benda sepanjang gerakannya (**jarak** sama juga dengan besar dari perpindahan). 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)

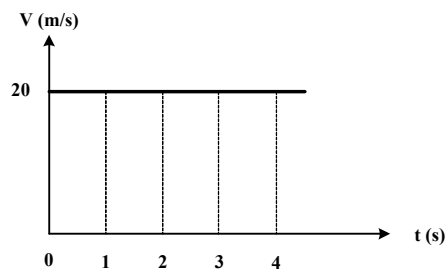
Gerak lurus beraturan adalah gerak dengan lintasan lurus dan kecepatannya selalu tetap. **Kecepatan (v)** adalah besaran vektor yang besarnya sama dengan perpindahan per satuan waktu. **Kelajuan** adalah besaran skalar yang merupakan besar dari kecepatan atau jarak tempuh per satuan waktu.

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

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

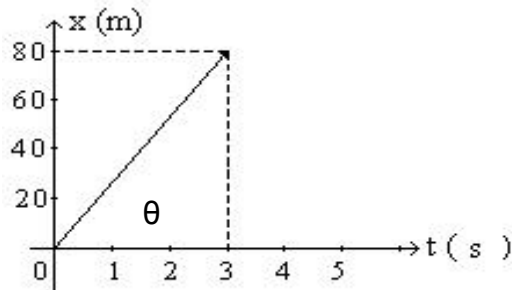
Amati Gambar 2.1, dari rumus $x = v \cdot t$, maka :

$$\begin{aligned} t = 1 \text{ s, } x &= 20 \text{ m} \\ t = 2 \text{ s, } x &= 40 \text{ m} \\ t = 3 \text{ s, } x &= 60 \text{ m} \\ t = 4 \text{ s, } x &= 80 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 2.1 Grafik kecepatan v terhadap waktu t pada gerak lurus beraturan

Pada Gambar 2.1, dapat diambil kesimpulan bahwa benda yang mempunyai 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 gradien sudut yang dibentuk oleh panjang garis di hadapan sudut (panjang sumbu x) dan panjang garis yang berhimpit dengan sudut (panjang sumbu t), lihat Gambar 2.2 ($v = \tan \theta = 80 \text{ m}/4 \text{ s} = 20 \text{ m/s}$).



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 Q 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:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Umumnya ditulis:

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

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:

$$\begin{array}{ll} t_1 = 30 \text{ menit} & x_1 = 40 \text{ km} \\ t_2 = 10 \text{ menit} & x_2 = 15 \text{ km} \\ t_3 = 8 \text{ menit} & x_3 = 9 \text{ km} \end{array}$$

Ditanyakan: \bar{v} ?

Jawab:

$$\bar{v} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{40 + 15 + 9 \text{ (km)}}{30 + 10 + 8 \text{ (menit)}} = \frac{64 \text{ km}}{48 \text{ menit (0.8 jam)}} = 80 \text{ km/jam}$$

B. Kecepatan Sesaat

Kecepatan sesaat, \bar{v} adalah kecepatan suatu benda yang bergerak pada

suatu saat tertentu atau pada posisi tertentu, dengan interval waktu Δt diambil sangat singkat, secara matematis ditulis sebagai berikut:

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

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 ($a = \text{acceleration}$) adalah perubahan kecepatan tiap sekon, secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

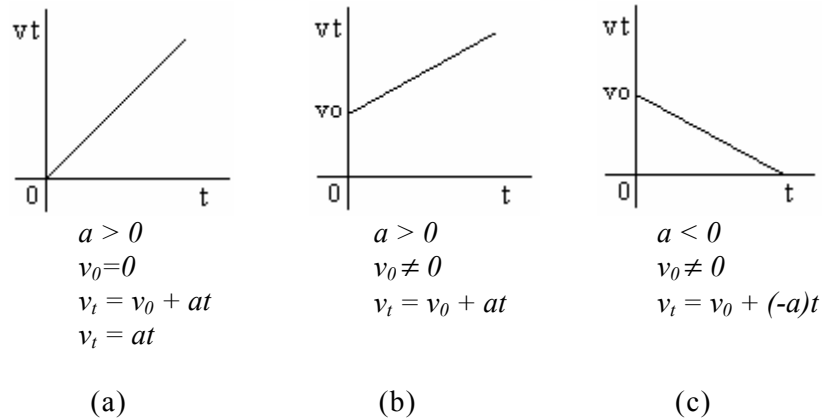
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t}$$

atau $v_t = v_0 + at$ (2.5)

dengan:

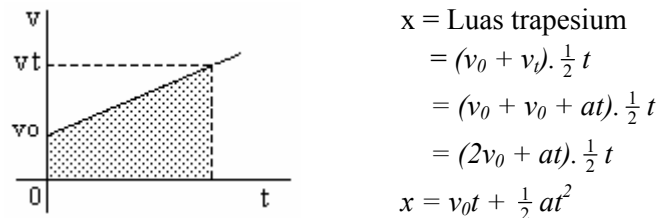
$$\begin{array}{l} v_t = \text{kecepatan akhir (m/s)} \\ v_0 = \text{kecepatan awal (m/s)} \\ a = \text{percepatan (m/s}^2\text{)} \\ t = \text{waktu (s)} \end{array}$$

Percepatan 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 pada benda mengalami percepatan, jika percepatan berlawanan arah dengan kecepatan maka pada benda mengalami perlambatan.

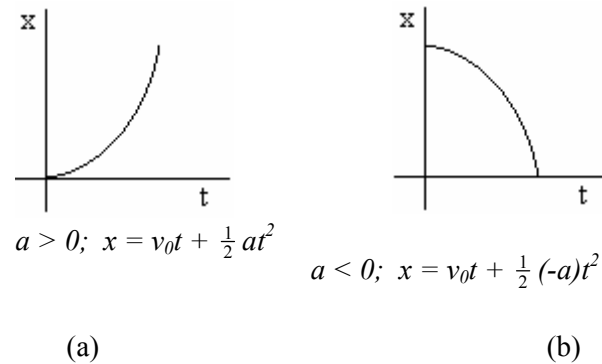


Gambar 2.3 Grafik gerak lurus berubah beraturan

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



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



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

Pada Gambar 2.5 terlihat 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:

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

Contoh Soal 5:

Bus mula-mula diam kemudian bergerak dengan percepatan tetap 2 m/s² 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/s² selama 3 sekon sampai berhenti. Tentukan jarak yang ditempuh oleh bus tersebut selama 3 sekon pengeremannya.

Penyelesaian:

Diketahui:

$$v_{01} = 0 \text{ m/s}, a_1 = 2 \text{ m/s}^2 \text{ (dipercepat)}, a_3 = -2 \text{ m/s}^2 \text{ (diperlambat)}$$

$$t_1 = 8 \text{ sekon}, t_2 = 10 \text{ sekon}, t_3 = 3 \text{ sekon}$$

Ditanyakan jarak yang ditempuh selama pengereman (3 sekon) ?

Jawab:

Gerakan I: $V_{t1} = V_{01} + a_1 t_1 \rightarrow V_{t1} = 0 + 2 \cdot 8 = 16 \text{ m/s}$ (dipercepat)

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

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

sehingga didapat $2a_3 X_2 = v_{t2}^2 - v_{02}^2 \rightarrow X_2 = \frac{-(16)^2}{2(-2)} = \frac{256}{4} = 64 \text{ m}$

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).

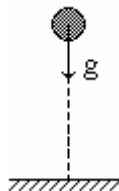
Sebuah benda dikatakan mengalami jatuh bebas, jika memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Kecepatan awal nol ($v_0 = 0$) \rightarrow benda dilepaskan
- Gesekan udara diabaikan
- 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 $g \text{ m/s}^2$, tentukanlah:

- Ketinggian benda setelah t sekon
- Waktu yang diperlukan untuk sampai di permukaan bumi
- Kecepatan pada saat mencapai tanah
- Kecepatan pada ketinggian h

Penyelesaian:

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

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

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

dengan:

$$h = \text{ketinggian setelah } t \text{ sekon (m) (di permukaan bumi)}$$

$$h_0 = \text{ketinggian mula-mula (m) (di atas permukaan bumi)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$t = \text{waktu (s)}$$

b). Syarat mencapai tanah: $h = 0$

$$h = h_0 - \frac{1}{2} gt^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

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 :

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

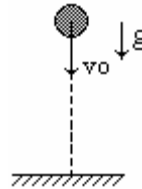
B.2 Gerak benda dilempar ke bawah

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:

$$h = \text{ketinggian setelah } t \text{ sekon (m) (di atas permukaan bumi)}$$

$$h_0 = \text{ketinggian mula-mula (m) (di atas permukaan bumi)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{); } t = \text{waktu (s)}$$

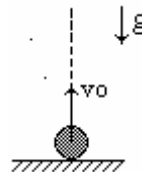
B.3 Gerak Benda Dilempar Ke Atas

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 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 ditempat itu 10 m/s², tentukan ketinggian benda pada saat kecepatannya 20 m/s.

Penyelesaian:

Diketahui: $v_0 = 40$ m/s

$$v_t = 20 \text{ m/s ; } g = 10 \text{ m/s}^2$$

Ditanyakan: $h = ?$

Jawab:

Misalkan benda mula-mula berada di atas tanah, maka $h_0 = 0$, maka:

$$v_t^2 = v_0^2 - 2g(h - h_0) \rightarrow (20)^2 = (40)^2 - 2 \cdot 10h \rightarrow h = \frac{1200}{20} = 60 \text{ m}$$

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 merupakan penyebab terjadinya gerakan dan termasuk besaran vektor, karena gaya mempunyai besar dan arah.

A. Hukum I Newton

Dalam peristiwa sehari-hari kita sering menjumpai keadaan yang menunjukkan pemakaiannya 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**.

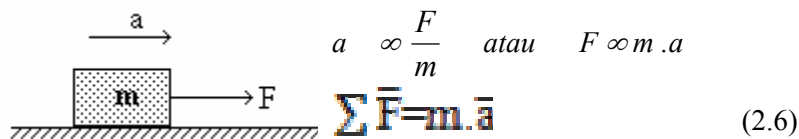
Jika resultan (jumlah) dari gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol ($\Sigma F = 0$), maka benda tersebut:

- jika dalam keadaan diam akan tetap diam, atau
- jika dalam keadaan bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan.

Jika $\Sigma F = 0$ dan v konstan $\rightarrow a = 0$, karena benda bergerak lurus (translasi), maka pada sistem koordinat Cartesian dapat berlaku: $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ dan $\Sigma F_z = 0$.

B. Hukum II Newton

Percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dan searah dengan gaya itu dan berbanding terbalik dengan massa benda.



$$a \propto \frac{F}{m} \quad \text{atau} \quad F \propto m \cdot a$$

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (2.6)$$

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

Hubungan massa dan berat :

$$w = m \cdot g \quad (2.7)$$

dengan:

w = gaya berat. (N).

m = massa benda (kg).

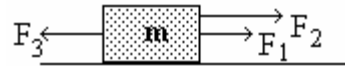
g = percepatan gravitasi (m/s^2).

Perbedaan massa dan berat:

- Massa (m) merupakan besaran scalar, besarnya di sembarang tempat untuk suatu benda yang sama selalu **tetap**.
- Berat (w) merupakan besaran vector, di mana besarnya tergantung pada tempatnya (percepatan gravitasi pada tempat benda berada).

Aplikasi-aplikasi Hukum II Newton:

- Jika pada benda bekerja banyak gaya yang horisontal maka berlaku : $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$



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

$$F_1 + F_2 - F_3 = ma$$

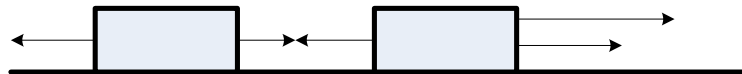
Kesimpulan:

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 = -)

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

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



Gaya yang bekerja pada m_2 searah dengan gerakannya ke kanan.

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

Gaya yang bekerja pada m_1 searah dengan gerakannya ke kanan.

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

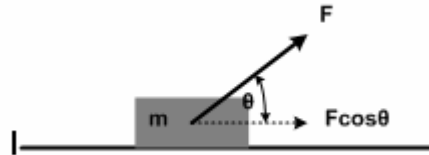
Dari persamaan (2.8) dan (2.9), didapat hubungan sebagai berikut:

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

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

$$\mathbf{T} = m_1 \mathbf{a} + \mathbf{F}_3 \quad (\text{T= Tegangan Tali}) \quad (2.10)$$

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



Untuk kasus i, ii di atas benda bergerak horizontal di mana gaya yang arah vertical (gaya normal dan gaya berat benda) saling meniadakan dan pada kasus iii, gaya-gaya vertical (gaya normal, gaya berat benda dan komponen gaya luar $F \sin \theta$) saling meniadakan.

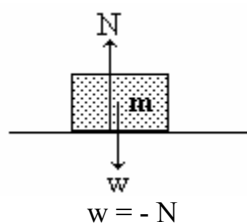
C. Hukum III Newton (Hukum Aksi-Reaksi)

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:

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

Pemahaman Konsep Aksi-Reaksi:

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



Gaya yang bekerja pada benda adalah:

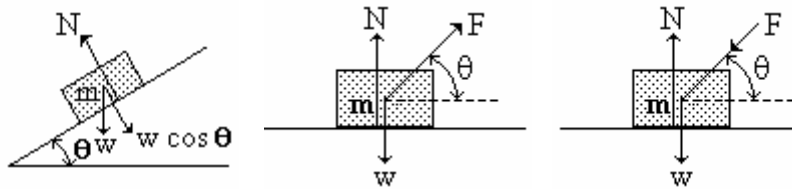
w = gaya berat

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:

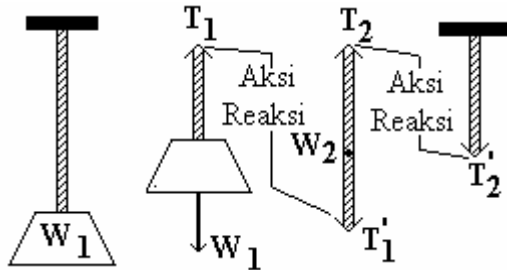


$$N = w \cos \theta$$

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

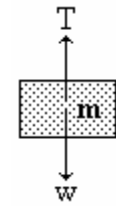
$$N = w + F \sin \theta$$

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**.

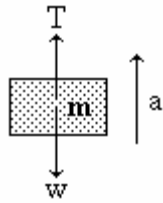
Hubungan Tegangan Tali Terhadap Percepatan:



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

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

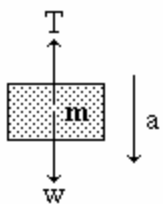
T = gaya tegangan tali.



- b. Bila benda bergerak ke atas dengan percepatan a :

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

T = gaya tegangan tali.

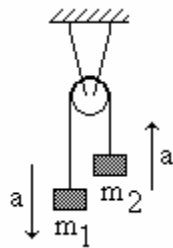


- c. Bila benda bergerak ke bawah dengan percepatan a :

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

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

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

Tinjauan benda m_2

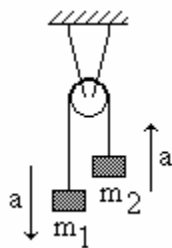
$$T = m_2 \cdot g + m_2 \cdot a \quad (2.16)$$

Dengan mengabaikan gesekan antara tali dengan katrol maka gaya tegangan tali di mana-mana sama, maka persamaan 2.15 dan persamaan 2.16 dapat disubstitusikan menjadi:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot g - m_1 \cdot a &= m_2 \cdot g + m_2 \cdot a \\ m_1 \cdot a + m_2 \cdot a &= m_1 \cdot g - m_2 \cdot g \\ (m_1 + m_2) \cdot a &= (m_1 - m_2) \cdot g \\ a &= \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g \end{aligned} \quad (2.17)$$

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 (-)**.

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

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

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

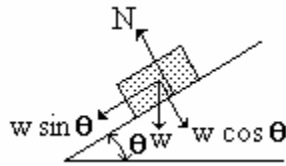
$$w_1 - w_2 = (m_1 + m_2) \cdot a$$

$$(m_1 - m_2) \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot a$$

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

2.6 Benda Bergerak Pada Bidang Miring

Gaya - gaya yang bekerja pada benda bidang miring harus diuraikan terhadap sumbu koordinat yang sejajar dengan bidang miring dan sumbu yang tegak lurus bidang miring.



$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}; \quad w \sin \theta = ma \rightarrow a = g \sin \theta \quad (2.18)$$

Penyelesaian untuk besaran-besaran kinematika pada benda yang bergerak pada bidang miring tetap menggunakan persamaan Hk II Newton.

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:

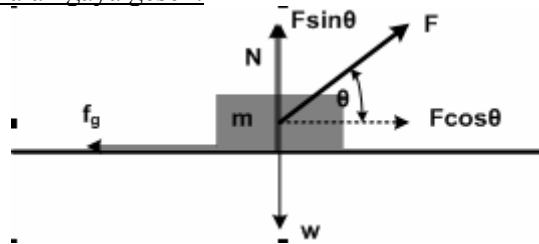
$$f = \mu \cdot N \quad (2.19)$$

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 belum bergerak, $f_s = \mu_s \cdot N$.
- b) **Gaya gesek kinetis** (f_k) adalah gaya gesek yang dialami benda dalam keadaan sedang bergerak, $f_k = \mu_k \cdot N$.

Contoh pemakaian gaya gesek:



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

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

- Tinjau gaya yang bekerja pada benda sepanjang sumbu x :

$$F \cos \theta - f_g = ma \quad (2.20)$$

- Tinjau gaya yang bekerja pada benda sepanjang sumbu y :

$$N + F \sin \theta - w = 0$$

$$N = w - F \sin \theta \quad (2.21)$$

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

$$f_g = \mu(w - F \sin \theta) \quad (2.22)$$

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

$$F \cos \theta - \mu(w - F \sin \theta) = ma \quad (2.23)$$

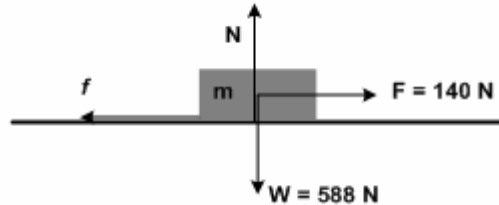
- Sehingga dari persamaan 2.23 dapat disimpulkan bahwa:

- Jika $F \cos \theta > f_g$, benda bergerak dipercepat dengan percepatan, $a = \frac{F \cos \theta - \mu(w - F \sin \theta)}{m}$, koefisien gesek (μ) yang bekerja adalah koefisien gesek kinetik (μ_k).
- 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 $a = 0$).
- 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:

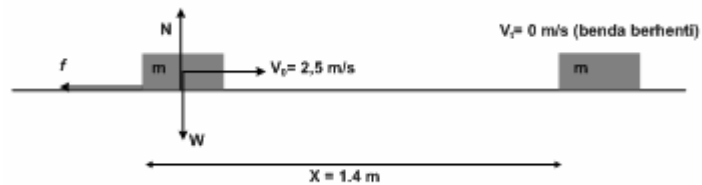


Karena $\Sigma F_y = 0$, maka $N = w = mg = 60 \cdot 9,8 = 588$ N, selanjutnya karena bergerak mendatar dengan percepatan nol (kecepatan konstan), maka $\Sigma F_x - f = m \cdot a_x = 0$ menghasilkan $140 - f = 0$ dengan demikian koefisien gesekan

$$\text{adalah : } \mu = \frac{f}{N} = 0,238$$

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, $f = -\mu \cdot mg$ 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, $v_t^2 = v_o^2 + 2a \cdot x = 0$

sehingga $a = -\frac{v_o^2}{2x} = -2,23 \text{ m/s}^2$, Jadi koefisien gesekan $\mu = -$

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

Contoh Soal 11:

Sebuah mobil bergerak dengan kelajuan 30 m/s sepanjang jalan mendatar. Koefisien gesekan antara jalan dan ban adalah $\mu_s = 0,5$ dan $\mu_k = 0,3$. 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 $\Sigma F_x = -\mu_s \cdot N = m \cdot a_x$ dengan $N = mg$, sehingga percepatan ke arah mendatar

$$a_x = -\frac{\mu_s mg}{m} = -0,5 \cdot 9,8 = -4,9 \text{ m/s}^2 \text{ karena percepatan konstan maka}$$

sampai berhenti jarak tempuhnya adalah:

$$v^2 = v_o^2 + 2 a x$$

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

(b). Roda terkunci maka ban selip, maka berlaku $\Sigma F_x = -\mu_k \cdot N = m \cdot a_x$ sehingga percepatan, $a_x = -\mu_k \cdot g = - (0,3) \cdot (9,8) = -2,94 \text{ m/s}^2$, dengan persamaan serupa di (a) diperoleh jarak penghentian mobil $x =$

$$\frac{-v_o^2}{2a} = 153 \text{ m}$$

2.8 Gerak Melengkung

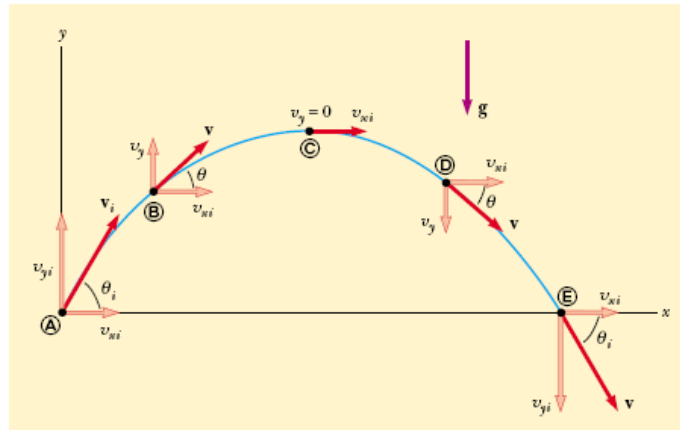
Gerak melengkung adalah suatu gerak benda yang lintasannya berupa garis lengkung. Gerak lengkung yang istimewa dibahas ada dua yaitu *gerak parabola* dan *gerak melingkar*.

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, $a = -g$) ke 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 sampai titik D (x,y)) maka:

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

$$x = v_{xi} \cdot t = v_i \cos \theta_i \cdot t \quad (2.25)$$

$$v_y = v_{yi} - gt$$

$$v_y = v_i \sin \theta_i - gt ; \quad (2.26)$$

$$y = v_{yi} \cdot t - \frac{1}{2} gt^2$$

$$y = v_i \sin \theta_i \cdot t - \frac{1}{2} gt^2 \quad (2.27)$$

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

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

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

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

Titik tinggi maksimum (C):

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

$t_{maks.} = \frac{v_i \sin \theta_i}{g}$ dan dengan mensubstitusikan t_{maks} ini ke

persamaan 2.24 diperoleh $y_{maks.} = \frac{v_i^2 \sin^2 \theta_i}{2g}$

(2.27)

Dengan t_{maks} : waktu yang dibutuhkan benda hingga mencapai posisi tinggi maksimum, y_{maks} : tinggi maksimum yang dapat dicapai benda.

Jarak mendatar maksimum (AE):

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

$2 \cdot t_{maks.} = 2 \cdot \left(\frac{v_i \sin \theta_i}{g} \right)$ dan disubstitusikan ke persamaan (2.25)

diperoleh jarak mendatar maksimum (AE) :

$$X_{maks.} = AE = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g} \quad (2.31)$$

Dengan X_{maks} : jarak mendatar terjauh yang dicapai benda.

Contoh Soal 12:

Sebuah peluru dengan massa 300 gr ditembakkan ke atas dengan kecepatan awal 200 m/s dan sudut elevasi 45° terhadap arah vertikal.

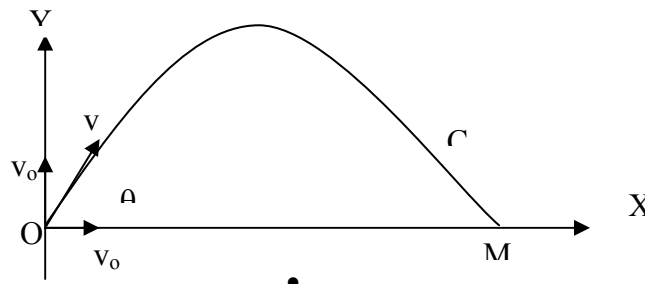
Sebuah benda ditembakkan dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 100 m/s dan sudut elevasi 45° . Tentukan:

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

Penyelesaian:

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

$$v_{ox} = v_o \cos 45^\circ = 200 \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2} = 100 \sqrt{2} \text{ dan } v_{oy} = v_o \sin 45^\circ = 100 \sqrt{2}$$



Setelah bergerak selama 20 detik maka kecepatannya adalah:

$$v_{cx} = v_{ox} = 100 \sqrt{2} \text{ m/s dan } v_{cy} = v_{oy} - gt = 100 \sqrt{2} - 10 \cdot 20 = -58,6 \text{ m/s}$$

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

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

$Y_C = v_{oy} t - \frac{1}{2} gt^2 = (100 \sqrt{2} \cdot 20) - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 20^2 = 828,4 \text{ m}$ dengan demikian :

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

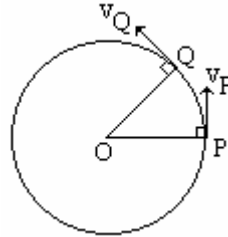
(b). Jarak mendatar peluru jatuh dihitung dari posisi awal adalah:

$$X_{OM} = \frac{v_o^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{200^2 \sin 90^\circ}{10} = 4000 \text{ m}$$

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

B. Gerak Melingkar

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



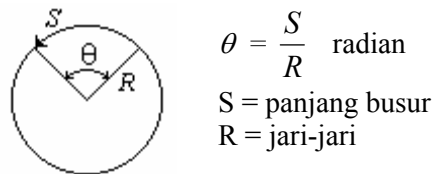
Gambar 2.8 Gerak Melingkar

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:



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 = $2\pi \times \text{radius}$, gerakan melingkar dalam 1 putaran = 2π radian.

$$1 \text{ putaran} = 360^\circ = 2\pi \text{ rad.}$$

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

Frekuensi dan perioda dalam gerak melingkar beraturan

Waktu yang diperlukan sebuah titik P untuk satu kali berputar mengelilingi lingkaran disebut *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 sebesar $s = 2\pi R$, maka kelajuan partikel P untuk mengelilingi lingkaran dapat dirumuskan : $v = \frac{s}{t}$. Kecepatan ini disebut **kecepatan linier** dan diberi notasi v .

Kecepatan angular (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:

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

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

$$\text{Untuk 1 putaran } \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/detik} \quad \text{atau} \quad \omega = 2\pi f$$

Dengan demikian besarnya sudut yang ditempuh dalam t detik :

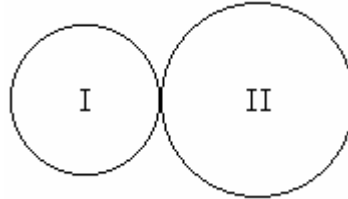
$$\theta = \omega t \quad \text{atau} \quad \theta = 2\pi f t \quad (2.33)$$

Sehingga antara v dan ω kita dapatkan hubungan :

$$v = \omega R \quad (2.34)$$

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.



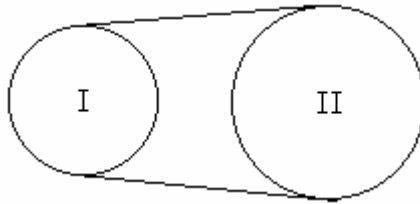
Gambar 2.10 Sistem Langsung

Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuan angular tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2 \quad (2.35)$$

Sistem Tak Langsung

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



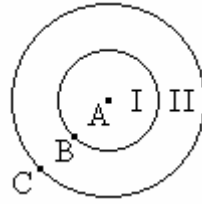
Gambar 2.11 Sistem Tak Langsung

Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuannya angularnya tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2 \quad (2.36)$$

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 angular yang sama, tetapi kecepatan liniernya tidak sama.



Gambar 2.12 Sistem roda pada satu sumbu

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

B.2 Percepatan Sentripetal

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

Arah dari percepatan ini akan selalu tegak lurus dengan arah kecepatan, 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 :

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

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

Gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar beraturan disebut **Gaya Sentripetal** yang arahnya selalu ke pusat lingkaran.. Adapun besarnya gaya adalah:

$$F = m \cdot a$$

$$F_r = m \cdot a_r$$

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

dengan:

F_r = gaya sentripetal/sentrifugal

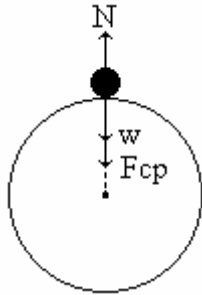
m = massa benda

v = kecepatan linier

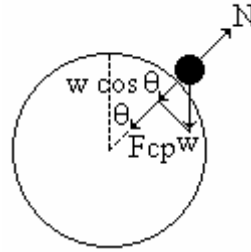
R = jari-jari lingkaran.

B.3 Beberapa Contoh Benda Bergerak Melingkar

1. Gerak benda di luar dinding melingkar.

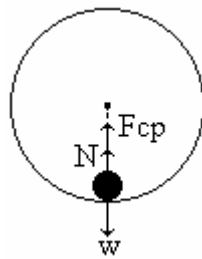


$$N = m \cdot g - m \cdot \frac{v^2}{R}$$

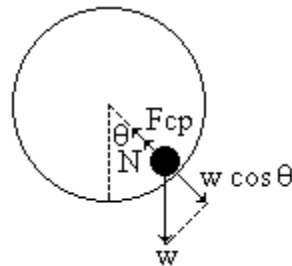


$$N = m \cdot g \cos \theta - m \cdot \frac{v^2}{R}$$

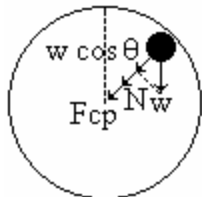
2. Gerak benda di dalam dinding melingkar.



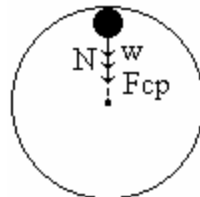
$$N = m \cdot g + m \cdot \frac{v^2}{R}$$



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

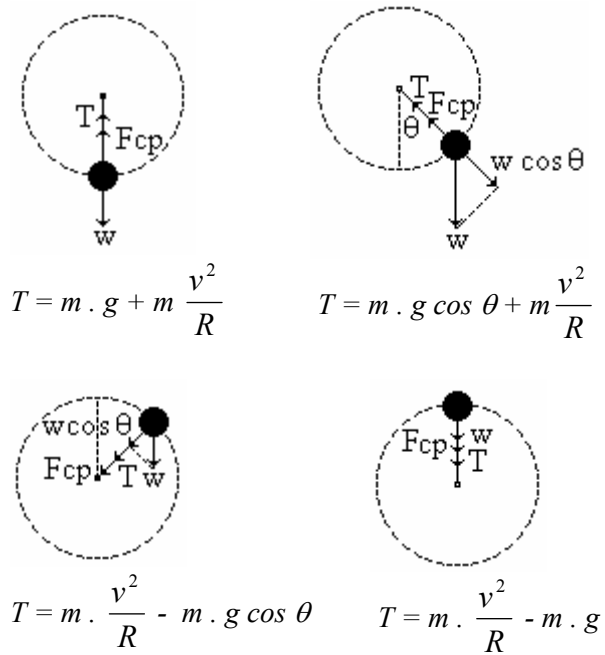


$$N = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \cos \theta$$

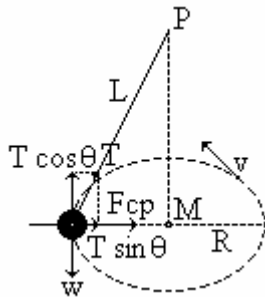


$$N = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$$

4. Benda dihubungkan dengan tali diputar vertikal.



5. Benda dihubungkan dengan tali diputar mendatar (ayunan sentrifugal/konis)



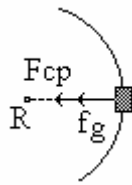
$$T \cos \theta = m \cdot g$$

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

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

Keterangan : R adalah jari-jari lingkaran

6. Gerak benda pada sebuah tikungan berbentuk lingkaran mendatar.



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

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 travel. Teman yang duduk di belakang supir selama 10 menit mengamati bahwa spidometer travel selalu tetap pada angka 60 km/jam. Dia kemudian mengatakan bahwa selama 10 menit itu travel tidak mengalami percepatan. Teman lain menanggapi bahwa selama 10 menit itu travel 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? Ke arah 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 penyebabnya.
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

- 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	d. 10 m/s
b. 20 m/s	e. 5 m/s
c. 15 m/s	
- 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}	d. $20,6 \text{ ms}^{-1}$
b. 5 ms^{-1}	e. 25 ms^{-1}
c. 20 ms^{-1}	
- 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. $\frac{1}{2} m.v^2$	d. $\frac{1}{4} m.v^2$
b. $m.v^2$	e. $\frac{3}{2} m.v^2$
c. $\frac{1}{3} m.v^2$	
- Suatu benda jatuh bebas dari ketinggian tertentu ke tanah. Apabila gesekan dengan udara diabaikan, kecepatan benda pada saat mengenai tanah ditentukan oleh . . .
 - percepatan gravitasi bumi dan massa benda
 - waktu jatuh yang dibutuhkan dan berat benda
 - ketinggian benda yang jatuh dan gravitasi bumi
 - luas permukaan benda
 - 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. $\sqrt{2h/g}$ | d. $\sqrt{2h}$ |
| b. $\sqrt{2g/h}$ | e. \sqrt{gh} |
| c. $\sqrt{2gh}$ | |
6. Perbedaan antara laju dan kecepatan adalah
- laju mempunyai besar dan arah, sedangkan kecepatan hanya mempunyai besar saja
 - kecepatan mempunyai besar dan arah, sedangkan laju hanya mempunyai arah saja
 - laju hanya mempunyai arah saja, kecepatan hanya mempunyai besar saja
 - laju hanya mempunyai besar saja, kecepatan hanya mempunyai arah saja
 - laju mempunyai besar dan tidak mempunyai arah, sedangkan kecepatan mempunyai besar dan arah
7. Yang dimaksud dengan percepatan adalah
- lintasan yang ditempuh dalam waktu tertentu
 - perubahan lintasan tiap satuan waktu
 - kecepatan yang dimiliki benda dalam waktu tertentu
 - perubahan kecepatan tiap satuan waktu
 - 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 | d. 50 m/s |
| b. 20 m/s | e. 150 m/s |
| c. 25 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. $10\sqrt{10} \text{ m/s}$ | d. $100\sqrt{10} \text{ m/s}$ |
| b. $10\sqrt{20} \text{ m/s}$ | e. 1000 m/s |
| c. 10 m/s | |

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

2.11.2 HUKUM NEWTON TENTANG GERAK

- 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	d. $7,5 \text{ m/s}^2$
b. $0,75 \text{ m/s}^2$	e. 10 m/s^2
c. $2,5 \text{ m/s}^2$	
- Sebuah benda bermassa 2 kg terletak di tanah. Benda itu ditarik vertikal ke atas dengan gaya 25 N selama 2 detik lalu dilepaskan. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, energi kinetik benda pada saat mengenai tanah adalah
 - 150 joule
 - 125 joule
 - 100 joule
 - 50 joule
 - 25 joule
- 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	d. 800 N
b. 200 N	e. 8000 N
c. 400N	
- Apabila sebuah benda bergerak dalam bidang datar yang kasar maka selama geraknya. . . .
 - gaya normal tetap dan gaya gesekan berubah
 - gaya normal berubah dan gaya gesekan tetap
 - 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 ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Percepatan maksimum yang dapat diterima mobil mogok dan mobil derek adalah
- | | |
|-----------------------|----------------------|
| a. 2 m/s^2 | d. 7 m/s^2 |
| b. 8 m/s^2 | e. 0 m/s^2 |
| c. 10 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 | d. 10N |
| b. 6 N | e. 11N |
| c. 8N | |
7. Peristiwa di bawah ini yang tidak mempunyai hukum kelembaman adalah
- Bila mobil yang kita tumpangi direm mendadak, tubuh kita terdorong ke depan
 - Bila kita berdiri di mobil, tiba-tiba mobil bergerak maju tubuh kita terdorong ke belakang.
 - Pemain ski yang sedang melaju, tiba-tiba tali putus, pemain ski tetap bergerak maju.
 - Pemain sepatu roda bergerak maju, tetap akan bergerak maju walaupun pemain itu tidak memberikan gaya.
 - 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
- kecepatan sebesar 1 m/s
 - percepatan sebesar 1 m/s^2
 - percepatan sebesar 10 m/s^2
 - kecepatan sebesar 10 m/s
 - 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
- gaya dorong bus
 - gaya dari rem
 - sifat kelembaman dari A
 - sifat kelembaman dari bus
 - gaya berat A
10. Sebuah benda sedang meluncur pada suatu bidang miring dengan kecepatan konstan, ini berarti
- bidang itu merupakan bidang licin sempurna
 - komponen berat dari benda yang sejajar bidang miring harus lebih besar dari gaya geseknya
 - komponen berat dari benda yang sejajar bidang miring harus lebih kecil dari gaya geseknya
 - komponen berat dari benda yang sejajar bidang miring harus sama dengan gaya geseknya
 - 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 | d. 8 N |
| b. 4 N | e. 10 N |
| c. 5 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 | d. 8000 N |
| b. 4000 N | e. 10000 N |
| c. 6000 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 $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka koefisien gesekan antara benda dan bidang adalah
- | | |
|--------|--------|
| a. 0,2 | d. 0,5 |
|--------|--------|

- b. 0,3
c. 0,4
- e. 0,6
14. Benda beratnya 98 newton ($g = 10 \text{ m/s}^2$) diangkat dengan gaya vertikal ke atas sebesar 100 newton, maka percepatan yang dialami benda
- a. nol
b. $0,2 \text{ m/s}^2$
c. $0,4 \text{ m/s}^2$
- 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.... ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
- a. $2 \sqrt{2} \text{ N}$
b. $8 \sqrt{2} \text{ N}$
c. $20 \sqrt{2} \text{ N}$
- d. 40 N
e. $40 \sqrt{2} \text{ N}$
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. $F = m \cdot g$
b. $F = m (a + g)$
c. $F = m (a/2) + m \cdot g$
- d. $m \cdot g = F + m \cdot a$
e. $m \cdot a = F + m \cdot g$
18. Sebuah elevator yang massanya 1500 kg diturunkan dengan percepatan 1 m/s^2 . Bila percepatan gravitasi bumi $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, maka besarnya tegangan pada kabel penggantung sama dengan.....
- a. 32400 N
b. 26400 N
c. 16200 N
- d. 14700 N
e. 13200 N

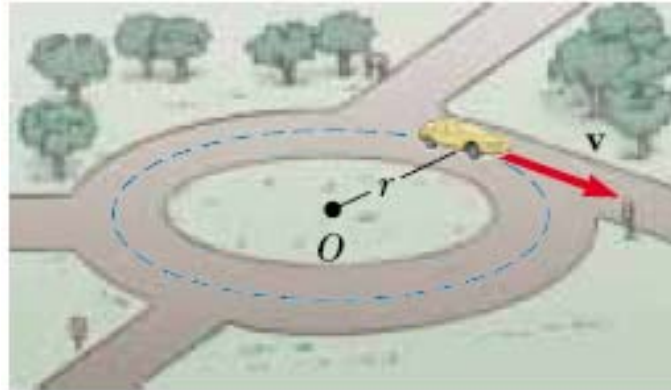
19. Gaya gesek pada benda yang bergerak di atas lantai kasar
- searah dengan arah gerak
 - berlawanan dengan arah gaya berat
 - menyebabkan benda berhenti
 - mempunyai harga maksimum pada saat benda akan bergerak
 - menyebabkan benda bergerak lurus beraturan
20. Dari hukum Newton II dapat disimpulkan bahwa jika gaya yang bekerja pada sebuah benda berubah, maka
- massa dan percepatannya berubah
 - massa dan percepatannya tidak berubah
 - massa berubah dan percepatannya tidak berubah
 - massa tidak berubah dan percepatannya berubah
 - volumenya berubah
21. Jika sebuah benda terletak pada bidang miring, maka gaya normal pada benda itu.....
- sama dengan berat benda
 - lebih kecil dari berat benda
 - lebih besar dari berat benda
 - dapat lebih besar atau lebih kecil dari berat benda
 - 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....
- massa orang di dalam lift menjadi 100 kg
 - lift sedang bergerak ke atas dengan kecepatan tetap
 - lift sedang bergerak ke bawah dengan kecepatan tetap
 - lift sedang bergerak ke bawah dengan percepatan tetap
 - 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 | d. 18 meter |
| b. 12 meter | e. 20 meter |
| c. 15 meter | |

24. Sebuah benda bermassa 20 kg terletak pada bidang miring dengan sudut 30 derajat terhadap bidang horisontal, Jika percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ 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. $\frac{1}{2}\sqrt{3} W$
 - b. $\frac{1}{2} W$
 - c. $\frac{1}{2}\sqrt{3}$
 - d. $\frac{1}{3}\sqrt{3}$
 - e. $\frac{1}{2}$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

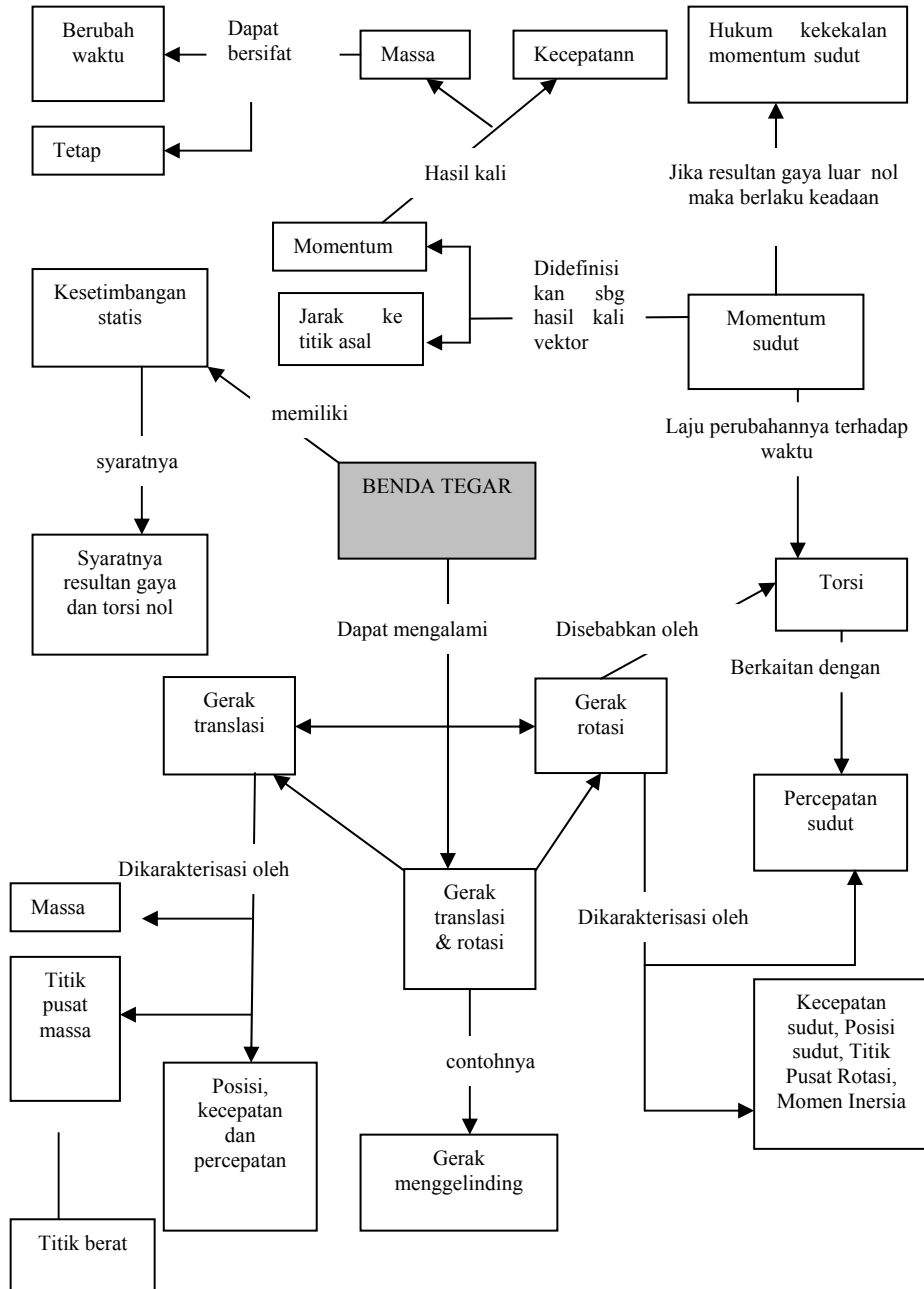
BAB 3

DINAMIKA ROTASI DAN KESETIMBANGAN BENDA TEGAR



Benda tegar adalah benda yang dianggap sesuai dengan dimensi ukuran sesungguhnya dengan jarak antar partikel penyusunnya tetap. Ketika benda tegar mendapatkan gaya luar yang tidak tepat pada pusat massa, maka selain bergerak translasi benda itu juga bergerak rotasi terhadap sumbu rotasinya. Coba anda amati gerakan mobil 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 apa yang Anda rasakan. Jika anda sebagai penumpang dengan jumlah yang berbeda-beda?

PETA KONSEP

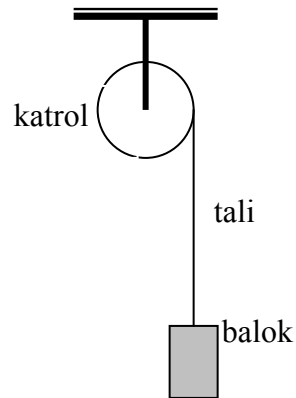


3.1. DINAMIKA ROTASI

3.1. 1. 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. Tuliskanlah bunyi hukum kekekalan energi mekanik.
3. Gambarkanlah diagram gaya untuk benda bebas yang terdiri katrol dan balok berikut:



Seperti yang telah Anda pelajari pada materi tentang dinamika partikel, suatu benda sebagai objek 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 ($\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$).

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), dengan resultan gaya eksternal dapat menyebabkan benda bergerak translasi dan juga rotasi (berputar terhadap suatu poros tertentu). Gerak rotasi disebabkan oleh adanya **torsi** (dilambangkan dengan τ), yaitu tingkat kecenderungan sebuah gaya untuk memutar suatu benda tegar terhadap suatu titik poros.

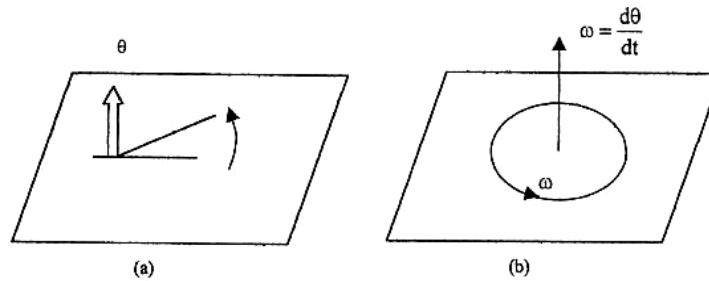
Untuk menyelesaikan masalah dinamika rotasi benda tegar, Anda harus menguasai menggambar diagram gaya benda bebas, kemudian menggunakan $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ untuk benda yang bergerak translasi dan menggunakan $\Sigma \tau = I\alpha$ untuk benda yang bergerak rotasi, dengan I ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) adalah besaran fisika yang disebut 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 terselesaikan dengan lebih mudah dan cepat dibanding dengan menggunakan analisis dinamika partikel $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$. Hal demikian juga berlaku pada pemecahan masalah gerak rotasi tertentu seperti gerak menggelinding (gabungan translasi dan rotasi) atau benda tegar yang menuruni atau mendaki suatu permukaan bidang miring. Pada persoalan semacam ini, penggunaan hukum kekekalan energi mekanik lebih mudah dan cepat dibanding menggunakan Analisis dinamika rotasi yang menggunakan persamaan $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ 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 atlet penari es yang melakukan peningkatan laju putarannya dengan cara menarik kedua lengannya dari terentang ke merapat badannya.

3.1.2. Kecepatan dan Percepatan

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 $\vec{\theta}$, $\vec{\omega}$ dan $\vec{\alpha}$. 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:

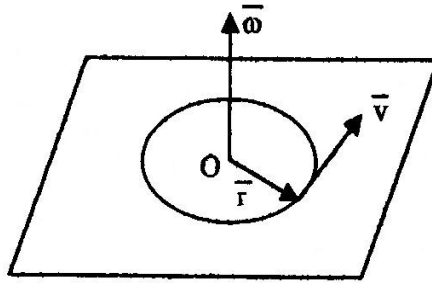
$$\bar{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \quad (3.1)$$

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

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (3.2)$$

dengan θ : pergeseran sudut, radian (rad), t : waktu, sekon (s), ω : kecepatan sudut (rad/s), α : percepatan sudut, (rad/s²).

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 $\bar{v} = \bar{\omega} \times \bar{r}$, 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 \vec{r} bergerak melingkar dengan kecepatan sudut ω

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:

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2} (2 \text{ rad/s}^2) (10 \text{ s})^2 = 100 \text{ rad}$$

jumlah putaran yang dilakukan cakram adalah

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

Sedangkan kecepatan sudut yang dilakukan cakram dihitung dengan:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t = 0 + (2 \text{ rad/s}^2) (10 \text{ s}) = 20 \text{ rad/s}^2$$

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 objek pengamatan,

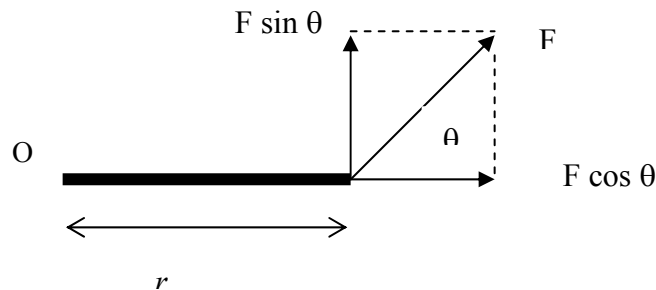
4. Putar roda dan pastikan “pentil” berputar sejauh setengah putaran (180°) dan catat waktu yang diperlukan dengan menggunakan stop watch,
5. Tentukan kecepatan sudut dari pentil tersebut,
6. Tentukan kecepatan linier dari pentil yang dianggap berada pada tepian roda.

Tugas 1.

Sebuah gerinda dengan radius 15 cm di putar 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..1. 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 di beri 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 vertical $F \sin \theta$ 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

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

[merupakan perkalian "cross" atau perkalian vektor" dari vektor lengan, r dan gaya, F , dibahas secara khusus pada operasi vektor]

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

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

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (3.3)$$

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

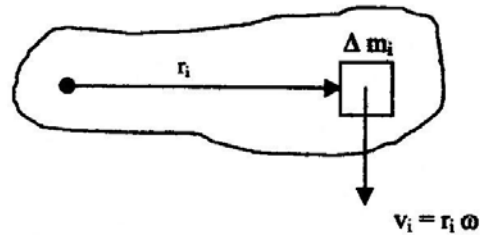
$$\begin{aligned} \vec{r} \times \vec{F} &= \vec{r} \times m \vec{a} \\ \vec{\tau} &= m r^2 \vec{\alpha} = I \vec{\alpha} \end{aligned} \quad (3.4)$$

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

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

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:

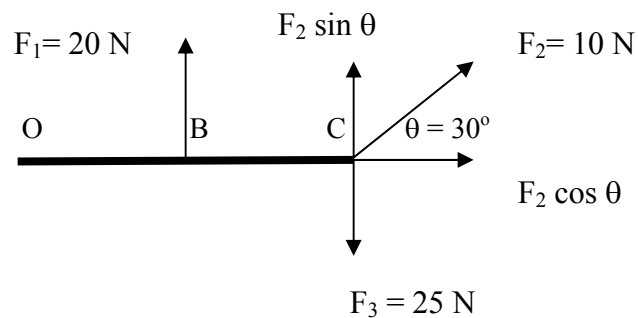
$$I = \sum_{i=1}^N r_i^2 \Delta m_i \quad (3.6)$$



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

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.



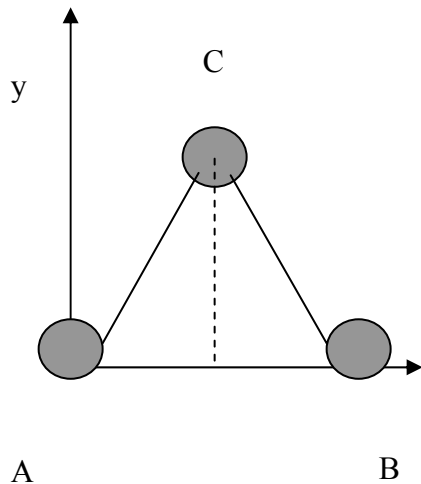
Penyelesaian:

Gaya (N)	Lengan torsi (m)	Torsi (mN)	Arah torsi
$F_1=20$	$OB = 0,5$	$0,5 \times 20 =$	Berlawanan arah jarum jam
$F_2 \cos \theta$	0	10	jam
$F_2 \sin 30^\circ = 5$	$OC = 1$	0	-
$F_3 = 25$	$OC = 1$	$1 \times 5 = 5$ $(-1) \times 25 = -$ 25	berlawanan arah jarum jam jam 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,

maka 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

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

3.1.4. Pemecahan Masalah Dinamika Rotasi

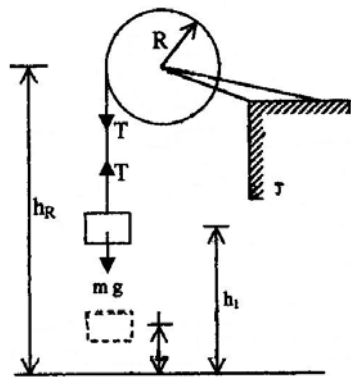
Untuk memecahkan persoalan dinamika rotasi, yang di dalamnya terdapat bagian sistem yang bergerak translasi maka dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi benda bagian dari sistem sebagai objek 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 menerapkan pada studi kasus dinamika rotasi berikut ini:

Contoh soal 3.4.

Benda A massa $m = 2 \text{ kg}$ dihubungkan dengan tali pada sebuah roda putar berjari-jari $R = 20 \text{ cm}$ dan bermassa $M = 1 \text{ kg}$ seperti Gambar. Bila mula-mula benda A diam pada ketinggian $h_1 = 120 \text{ cm}$ kemudian dilepas sampai pada ketinggian $h_2 = 20 \text{ cm}$, tentukan tegangan tali dan percepatan linier benda A sepanjang gerakannya.



Penyelesaian :

Analisis rotasi:

Setelah benda A di lepas 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 $\tau = I \alpha$ dan definisi momen inersia roda terhadap sumbunya

$$I = \frac{1}{2} MR^2,$$

diperoleh $T \times R = \frac{1}{2} MR^2 \alpha$. Karena T tegak lurus R , maka bila ditulis dalam bentuk skalar menjadi

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

Analisis translasi:

Benda A merupakan bagian sistem 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

$$a = \frac{2m}{M + 2m} g = \frac{2 \cdot 2}{1 + 2 \cdot 2} 10 = 8 \text{ m/s}^2$$

$$\alpha = \frac{2m}{M + 2m} \frac{g}{R} = \frac{2 \cdot 2}{1 + 2 \cdot 2} \left(\frac{10}{0,2} \right) = 40 \text{ rad/s}^2$$

$$T = \frac{M}{M + 2m} mg = \frac{1}{1 + 2 \cdot 2} (2 \cdot 10) = 4 \text{ N}$$

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

1. Ambil katrol dan tali, susunlah membentuk sistem 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 sistem 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 Analisis 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.

3.1.5. Pemecahan Masalah Dinamika Rotasi dengan Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Anda telah mencoba mengterapkan 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:

$$E_M(\text{mekanik}) = E_p(\text{potensial}) + E_K(\text{translasi}) + E_K(\text{rotasi})$$

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

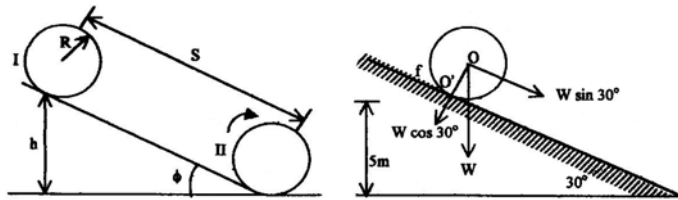
Energi kinetik translasi dihitung berdasarkan asumsi bahwa benda adalah suatu partikel yang kelajuan liniernya sama dengan kelajuan pusat massa sedangkan energi kinetik rotasi dihitung berdasarkan asumsi bahwa benda tegar berotasi terhadap poros yang melewati pusat massa.

Sekarang Anda terapkan 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 dari ketinggian 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. Penyelesaian secara dinamika

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 $v^2 = v_0^2 + 2as$, dan mengingat kecepatan silinder saat terlepas $v_0 = 0$ dan $h = s \sin \theta$, maka kecepatan silinder setelah sampai di ujung kaki bidang adalah:

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

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:

$$\begin{aligned} E_2 &= E_{p2} + E_{k2} + E_{kR2} \\ &= MgR + \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \end{aligned}$$

Perubahan tenaga mekanik yang terjadi adalah

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

Karena $W_f = 0$, maka dengan memasukkan momen inersia silinder $I = \frac{1}{2}MR^2$ dan $\omega = \frac{v}{R}$, kecepatan silinder setelah sampai di ujung kaki

bidang miring besarnya adalah: $v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$

Kegiatan 3. Penerapan hukum kekekalan energi mekanik

1. Silakan ambil sebuah bola sepak dan ukur radius beserta massanya,
2. Tempatkan bola pada puncak sebuah papan kayu yang miring (kemiringan 53° 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 Analisis 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° terhadap horizontal. Bola dilepas dari ketinggian 4 m.

3.1.6. 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:

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

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

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

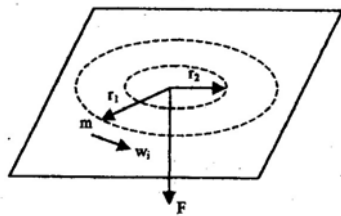
dengan I adalah momen inersia benda, sedangkan ω adalah kecepatan sudutnya. Bila tak ada momen gaya eksternal yang bekerja, maka L_z tetap, sehingga bila I berubah maka ω harus berubah agar efek perubahannya saling meniadakan. Kekekalan momentum sudut akan berbentuk:

$$I\omega = I_0\omega_0 \quad (3.10)$$

dengan I_0 dan ω_0 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.

Sebuah benda kecil bermassa m diikatkan diujung tali. Tali diputar hingga bergerak melingkar pada bidang horizontal dengan jari-jari $r_1 = 40 \text{ cm}$ dan laju $v_1 = 10 \text{ m/s}$. Kemudian tali ditarik ke bawah sehingga lingkarannya menjadi $r_2 = 20 \text{ cm}$. Hitung v_2 dan laju putaran ω_2 .



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 $v_2 = \frac{r_1}{r_2} v_1 = \frac{40\text{cm}}{20\text{cm}} \times 10\text{m/s} = 20\text{cm/s}$. 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 $\varpi_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \varpi_1 = \left(\frac{40\text{cm}}{20\text{cm}}\right)^2 \times 50\text{rad/s} = 200\text{rad/s}$, dengan $\varpi_1 = \frac{v_1}{r_1}$

3.2. KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

Dalam subbab ini Anda akan mempelajari 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 $\sum \vec{F} = 0$ (tidak bergerak translasi) dan $\sum \tau = 0$ (tidak berotasi). Berikutnya dalam subbab ini apabila tidak dinyatakan, yang dimaksud kesetimbangan adalah kesetimbangan statis (benda tetap diam) dan supaya mempermudah dalam menyelesaikan masalah kesetimbangan, Anda harus menguasai menggambar diagram gaya benda bebas dan menghitung torsi terhadap suatu poros oleh setiap gaya dari diagram gaya benda bebas tersebut.

3.2.1. Kesetimbangan Statis Sistem Partikel

Dalam sistem yang tersusun dari partikel, benda dianggap sebagai satu titik materi. Semua gaya eksternal yang bekerja pada sistem 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:

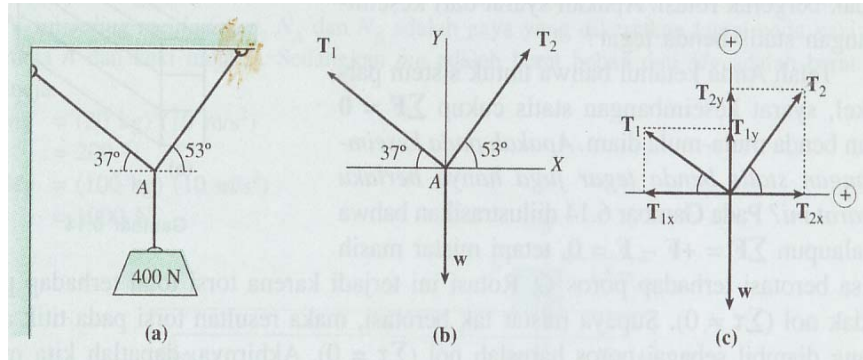
$$\sum \vec{F} = 0 \text{ yang meliputi } \sum F_x = 0 \text{ dan } \sum F_y = 0 \quad (3.11)$$

dengan $\sum F_x$: resultan gaya pada komponen sumbu x

$\sum F_y$: resultan gaya pada komponen sumbu y.

Untuk memahami masalah kesetimbangan sistem partikel, silakan 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 penahnya.



Gambar 3.5. Sistem kesetimbangan partikel.

Penyelesaian:

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

$$\begin{aligned} T_{1x} &= T_1 \cos 37^\circ = 0,8T_1 & T_{2x} &= T_2 \cos 53^\circ = 0,6T_2 \\ T_{1y} &= T_1 \sin 37^\circ = 0,6T_1 & T_{2y} &= T_2 \sin 53^\circ = 0,8T_2 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 & \Sigma F_y &= 0 \\ T_{2x} - T_{1x} &= 0 & T_{1y} + T_{2y} - W &= 0 \\ 0,6T_2 &= 0,8T_1 & 0,6T_1 + 0,8T_2 - 400 &= 0 \quad (**) \end{aligned} \quad (*)$$

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

3.2.2. 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

$$\Sigma F = 0 \text{ yang mencakup } \Sigma F_x = 0 \text{ dan } \Sigma F_y = 0$$

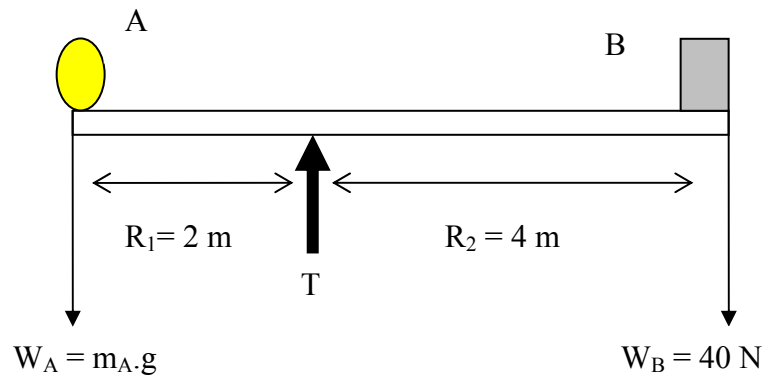
2. Resultan torsi harus nol

$$\Sigma \tau = 0$$

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

Contoh soal 3.7.

Seorang siswa menempatkan benda balok B = 4 kg di ujung papan yang ditumpu di 4 m dari B, kemudian agar papan dalam keadaan setimbang di menempatkan benda A di 2 m dari titik tumpu. Hitung besar massa benda A yang harus ditempatkan agar sistem setimbang dan besar gaya tumpu T.



Penyelesaian:

Kesetimbangan rotasi:

Resultan torsi terhadap titik tumpu T adalah $\Sigma \tau = W_B R_2 - W_A R_1 = 0$

(keadaan setimbang)

$$40 \times 4 - W_A \times 2 = 0 \text{ jadi } W_A = 80 \text{ N sehingga massa A} = 8 \text{ kg.}$$

Kesetimbangan translasi:

$$\Sigma F = T - (W_A + W_B) = 0 \text{ jadi } T = 120 \text{ N}$$

3.3. TITIK BERAT

3.3.1. Definisi dan Cara Menentukan Titik Berat

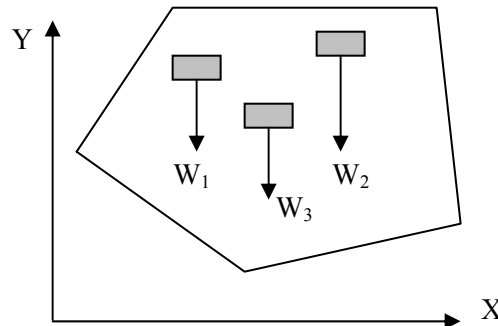
Titik berat dari suatu benda tegar adalah titik tunggal yang dilewati oleh resultan dari semua gaya berat dari partikel penyusun benda tegar tersebut. Titik berat disebut juga dengan pusat gravitasi.

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 3.6. 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 , dengan torsi ini sama dengan jumlah torsi dari masing-masing partikel penyusun benda tegar. Dengan demikian kita dapat rumusan absis titik berat sebagai berikut:

$$X_G = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \quad (3.12)$$

Dengan cara yang sama diperoleh ordinat titik berat sebagai berikut:

$$Y_G = \frac{w_1y_1 + w_2y_2 + w_3y_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots} = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i} \quad (3.13)$$



Gambar 3.6. Titik berat sejumlah partikel dari benda tegar

C.2. 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

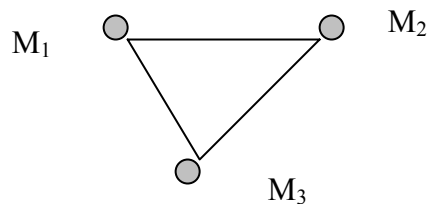
$w = mg$ disubstitusikan ke persamaan (3.12) dan (3.13) akan diperoleh *titik pusat massa* (X_G, Y_G) yang identik dengan titik berat.

$$X_G = \frac{m_1gx_1 + m_2gx_2 + m_3gx_3 + \dots}{m_1g + m_2g + m_3g + \dots} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \quad (3.14)$$

dan

$$Y_G = \frac{m_1gy_1 + m_2gy_2 + m_3gy_3 + \dots}{m_1g + m_2g + m_3g + \dots} = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} \quad (3.15)$$

Contoh soal 3.8.



Tiga massa $M_1 = 5 \text{ kg}$ (4,4); $M_2 = 10 \text{ kg}$ (10,4) dan $M_3 = 5 \text{ kg}$ (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):

$$\begin{aligned} X_G &= \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \\ &= \frac{5.4 + 10.10 + 5.6}{5 + 10 + 5} = \frac{150}{20} = 7,5 \end{aligned}$$

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

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.

RANGKUMAN

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

$$E_M = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

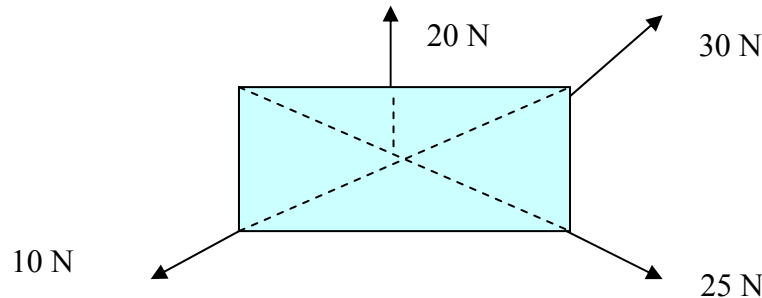
3. Momen inersia adalah besaran yang merupakan hasil kali massa dengan kwadrat jarak massa terhadap sumbu rotasi, untuk sistem terdiri banyak partikel, momen inersianya adalah: $I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$.

4. Dalam dinamika rotasi terdapat besaran momentum sudut, dimana besarnya arah 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 berlaku kekekalan momentum sudut, $L_o = L'$.
5. Kesetimbangan sistem 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 :

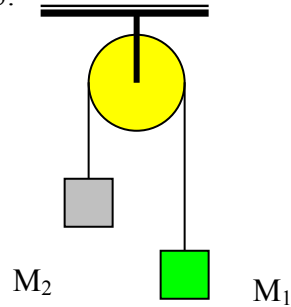
$$X_G = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots} = \frac{\Sigma w_i x_i}{\Sigma w_i}$$

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 $88,4 \text{ rad/s}$?
 - (c). Berapakah besar energi kinetik roda tersebut pada kecepatan sudut $88,4 \text{ rad/s}$?
2. Tentukan torsi total dan arahnya terhadap poros O (perpotongan diagonal) dari persegi empat dengan ukuran $20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ berikut ini:

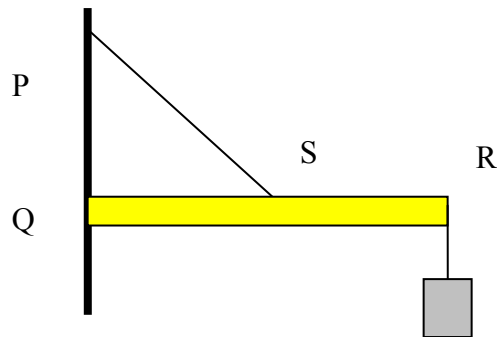


3.



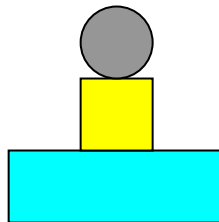
Balok $M_1 = 2 \text{ kg}$, $M_2 = 1 \text{ kg}$ dihubungkan dengan tali melewati katrol berupa piringan tipis dengan massa katrol 1 kg dan radius 20 cm . Katrol dan tali tidak selip, system dilepas dari diam. Tentukan percepatan kedua balok dan energi kinetik katrol setelah bergerak dalam waktu 5 s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

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 $1,5 \text{ kg}$.
5. Dari sistem kesetimbangan berikut tentukan besar tegangan tali agar sistem dalam keadaan setimbang.



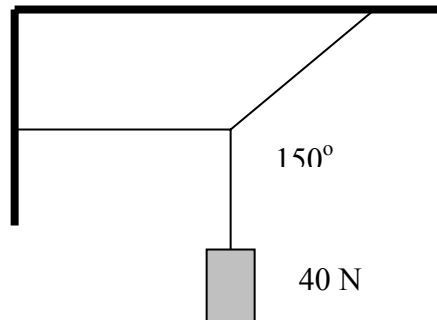
Batang $QR = 120 \text{ cm}$ dengan massa 4 kg , massa beban 10 kg dan sudut $QPS = 45^\circ$ serta $QS = 60 \text{ cm}$.

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 radius 20 cm dan massa 4 kg dilepas dari keadaan diam di puncak bidang miring dengan ketinggian 60 cm dan sudut kemiringan 37° 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 sistem 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).

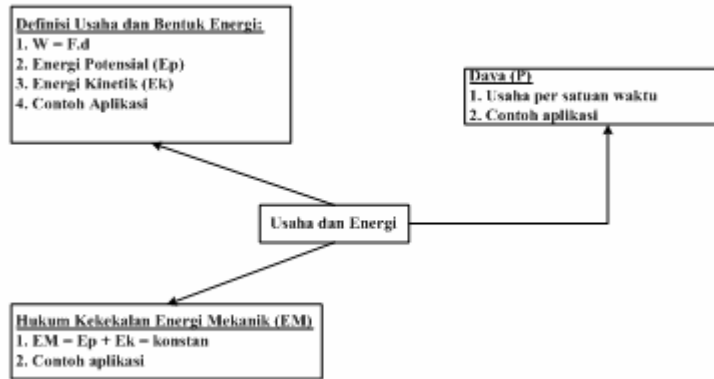
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 USAHA DAN ENERGI



Energi merupakan konsep yang sangat penting, dan pemahaman terhadap energi merupakan salah satu tujuan pokok fisika. Sebagai gambar 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



Prasyarat

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

Cek Kemampuan

1. Motor listrik yang mempunyai daya 150 kW mengangkat benda setinggi 5,1 m dalam waktu 16,0 s. Berapakah gaya yang dikerahkan motor itu?
2. Seekor kera bermassa 6,0 kg berayun dari cabang sebuah pohon ke cabang lain lebih tinggi 1,2 m. Berapakah perubahan energi potensialnya?
3. 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?
4. Seorang pemain ski mula-mula diam, lalu mulai bergerak menuruni lereng miring 30° 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

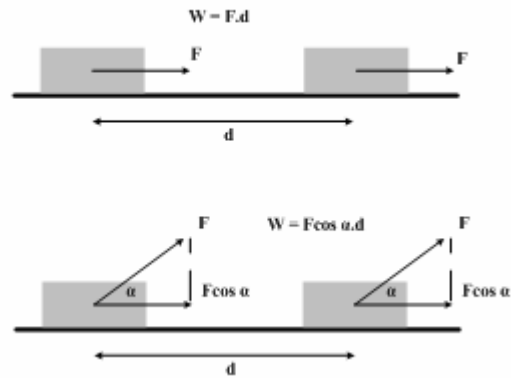
Dalam kehidupan sehari-hari kata usaha mempunyai arti sangat luas, misalnya usaha seorang anak untuk menjadi pandai, usaha seorang pedagang untuk memperoleh laba yang banyak, usaha seorang montir untuk memperbaiki mesin dan sebagainya. Jadi dapat disimpulkan usaha adalah segala kegiatan yang dilakukan untuk mencapai tujuan.

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

$$W = F \cdot d \quad (4.1)$$

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

$$W = F \cos \alpha \cdot d \quad (4.2)$$



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

dengan:

W = usaha (joule)

F = gaya (N)

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 di atas bidang datar. Karena pengaruh gaya 140 N benda mengalami perpindahan sejauh 5 m arah mendatar, berapa usaha yang dilakukannya apabila:

- Gaya mendatar
- Gaya membuat sudut 60^0 terhadap bidang horisontal

Penyelesaian:

Diketahui:

$$F = 140 \text{ N}; \quad d = 5 \text{ m}$$

Ditanyakan:

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

Jawab:

- $W = F \cdot D = 140 \text{ N} \cdot 5 \text{ m} = 700 \text{ N.m} = 700 \text{ joule}$.
- $W = F \cos \alpha \cdot d = 140 \text{ N} \cdot \cos 60^0 \cdot 5 \text{ m} = 140 \text{ N} \cdot 0,5 \cdot 5 \text{ m} = 350 \text{ joule}$.

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:

$$W = F \cos \alpha \cdot d$$

$$25,6 \text{ joule} = 40 \text{ N} \cdot \cos \alpha \cdot 0,8 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = 25,6 \text{ joule} / 32 \text{ N.m} = 0,8$$

$$\alpha = \cos^{-1} (0,8) = 36,86^0 = 37^0 \text{ (pembulatan 2 angka penting)}$$

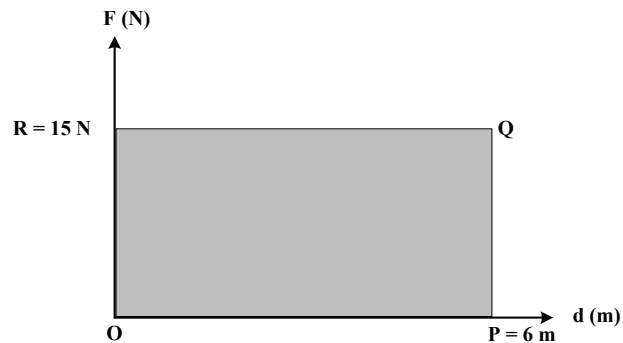
Contoh 3:

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

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

Penyelesaian:

4. Γ Grafik gaya (F) terhadap perpindahan (d)



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

$$\text{Luas OPQR} = \text{OP} \cdot \text{OR} = 6 \text{ m} \cdot 15 \text{ N} = 90 \text{ joule.}$$

4. Γ $W = F \cdot d = 15 \text{ N} \cdot 6 \text{ m} = 90 \text{ joule}$. Dari data jawaban b dan jawaban c, dapat disimpulkan bahwa untuk mencari besarnya usaha dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:
- Dengan menghitung luas daerah yang terbentuk dari grafik gaya (F) terhadap perpindahan (d), sesuai dengan besar gaya (F) dan perpindahan (d) yang dialaminya.
 - Dengan rumus $W = F \cdot d$.

4.2 Daya

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

$$P = \frac{W}{t} \quad (4.3)$$

dengan:

$$\begin{aligned} P &= \text{daya (watt)} \\ W &= \text{usaha (joule)} \\ t &= \text{waktu (s)} \end{aligned}$$

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

Satuan lain dari daya adalah:

$$\begin{aligned} 1 \text{ hp} &= 1 \text{ DK} = 1 \text{ PK} = 746 \text{ watt} \\ \text{hp} &= \text{Horse power; DK} = \text{daya kuda; PK} = \text{Paarden Kracht} \end{aligned}$$

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 ditempat itu 10 m/s^2).

Penyelesaian:

Diketahui:

$$\begin{aligned} m &= 3000 \text{ kg} \\ h &= 10 \text{ m} \\ t &= 20 \text{ s, } g = 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Ditanyakan: P ...?

Jawab:

Usaha yang diberikan mesin pengangkat digunakan untuk menambah energi potensial barang, sehingga berlaku:

$$W = mgh = 3000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m} = 300.000 \text{ joule}$$

$$P = W/t = 300.000 \text{ joule} / 20 \text{ s} = 15.000 \text{ watt}$$

Ingat $1 \text{ hp} = 746 \text{ watt}$, jadi $1 \text{ watt} = 1/746 \text{ hp}$, maka 15.000 watt sama dengan $15.000 / 746 = 20,11 \text{ hp}$.

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.

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

dengan,

Ek = energi kinetik (joule)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)

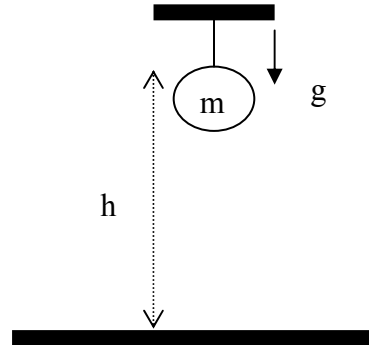
Usaha = perubahan energi kinetik.

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

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 tenaga 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 .

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

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, ketinggian benda dan massa benda.

4.3.3 Energi Potensial Pegas

Energi potensial yang dimiliki benda karena sifat elastik pegas.

$$\text{Gaya pegas } (F) = k.x \quad (4.7)$$

$$\text{Ep Pegas } (Ep) = \frac{1}{2} k. x^2 \quad (4.8)$$

dengan:

k = konstanta gaya pegas

x = regangan/perubahan panjang pegas

Hubungan usaha dengan Energi Potensial:

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

4.4 Energi Mekanik

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

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

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

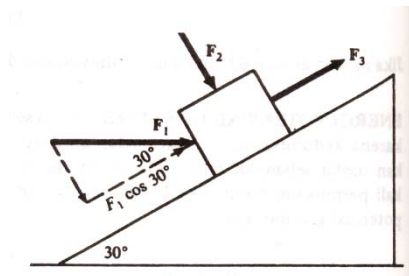
$$Em_1 = Em_2$$

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

Contoh Soal 4:

Sebuah benda dengan berada pada bidang miring dengan sudut kemiringan 30° 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:



Tentukan lebih dahulu komponen gaya F_1 yang sejajar arah perpindahan yaitu $F_1 \cos 30^\circ = 40 \cdot 0,866 = 34,6$ N, maka kerja yang dilakukan F_1 adalah

$F_1 \cos 30^\circ \cdot S = 34,6 \cdot 0,8 = 28$ 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 $F_3 \cdot S = 30 \cdot 0,8 = 24$ 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 $f = \mu \cdot mg = 0,2 \cdot 0,300 \cdot 9,8 = 0,588$ N

Kerja yang dilakukan gaya gesekan ini adalah $f \cos 180^\circ$.

$S = 0,588 (-1) \cdot 0,80 = - 0,470$ 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:

Untuk sistem ini berlaku kekekalan energi mekanik,

$$E_K + E_P(\text{gravitasi}) + E_P(\text{pegas}) = E_P'(\text{pegas}) + E_K' + E_P(\text{gravitasi})'$$

$$\frac{1}{2} mv^2 + 0 + 0 = \frac{1}{2} kx^2 + 0 + 0$$

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

4.5 Kerja oleh Gaya Konservatif dan oleh Gaya Non-Konservatif

Dalam pembahasan mekanika, gaya yang bekerja pada suatu benda dibedakan menjadi dua jenis 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

Dari teorema kerja-energi, dimana sistem yang dibahas adalah bersifat konservatif yaitu: $W_{\text{total}} = \Delta E_K$. 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 konservatif, 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:

$$W_{\text{konservatif}} + W_{\text{nonkonservatif}} = \Delta E_K$$

sedangkan,

$$W_{\text{konservatif}} = -\Delta E_P$$

sehingga

$$\begin{aligned} W_{\text{non konservatif}} &= \Delta E_K + \Delta E_P = \Delta(E_K + E_P) \\ &= \Delta E \end{aligned} \quad (4.12)$$

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:

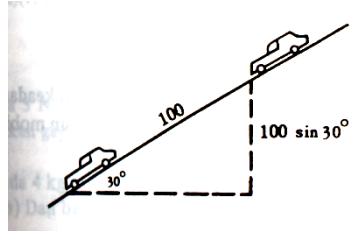
Energi kinetik benda berkurang karena terjadi perlambatan oleh gaya gesekan, berarti perubahan energi kinetik dari benda = kerja yang dilakukan oleh gaya gesekan pada benda, $\frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2) = f \cos \theta \cdot d$, karena gaya gesekan berlawanan dengan arah gerak maka $\theta = 180^\circ$, maka kita peroleh:

$$0 - \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,2^2 = f \cdot (-1) \cdot 0,7, \text{ jadi } f = 0,0143 \text{ N.}$$

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:

$$\frac{1}{2} m(v^2 - v_0^2) + mg(h - h_0) = F(-l) \cdot S$$

$$\frac{1}{2} \cdot 1200 (0 - 12^2) + 1200 \cdot 9,8 (100 \sin 30^\circ) = F(-1) \cdot 100;$$

jadi $F = 6,7 \text{ kN}$.

4.6 Kegiatan

Pembuktian Hukum Kekekalan Energi Mekanik

A. Bahan:

- Rancang mesin *At-wood* sederhana (lihat gambar)
- Satu set massa pembebanan
- Meteran
- Timbangan
- Benang Nilon

B. Langkah kerja:

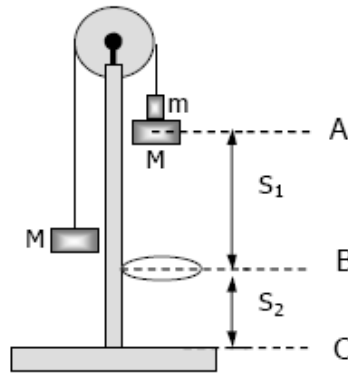
- Menimbang beban M dan beban penambah m
- Mengukur dan menandai S_1 dan S_2 .
- Beban dilepas dari A stop watch 1 dihidupkan, ketika beban mencapai B stop watch 2 dihidupkan secara bersamaan stop watch

1 dimatikan, dan setelah posisi mencapai C stop watch 2 dimatikan.

4. Ulangi langkah 1-3 minimal 3 kali
5. Masukkan data ke dalam 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.



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.

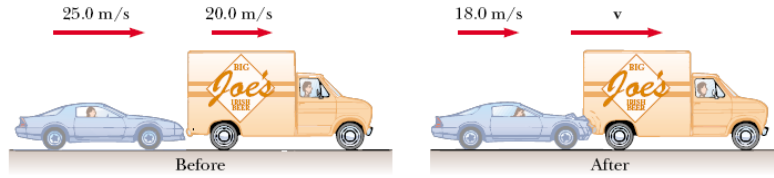
4. Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena pengaruh tempatnya (kedudukannya).
5. Energi mekanik (E_m) adalah jumlah antara energi kinetik dan energi potensial suatu benda.

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° 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. ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
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? ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
6. Berapa besar gaya diperlukan untuk menahan 2 kg benda, tetap 1,5 m di atas lantai dan berapa besar usaha untuk menahan benda tersebut selama 5 detik ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
7. Untuk menaikkan kedudukan benda yang massanya 200 kg ke tempat x meter lebih tinggi, diperlukan kerja sebesar 10.000 joule. Berapa x ? ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)
8. Gaya besarnya 300 newton dapat menggerakkan benda dengan daya 1 HP. Berapa besarnya kecepatan benda?
9. Berapa besar energi kinetik suatu benda yang bergerak dengan kecepatan 20 m/s, jika massa benda 1000 kg?
10. Benda bermassa 1 kg mempunyai energi kinetik besarnya 1 joule berapa kecepatan benda?
11. Sebuah benda yang massanya 2 kg ($g = 10 \text{ m/s}^2$) jatuh dari ketinggian 4 m di atas tanah. Hitung besar energi potensial benda dalam joule dan dalam erg.
12. Sebuah benda bermassa 5 kg, jatuh dari ketinggian 3 m di atas tanah ($g = 10 \text{ m/s}^2$) Berapa energi kinetik benda pada saat mencapai tanah?

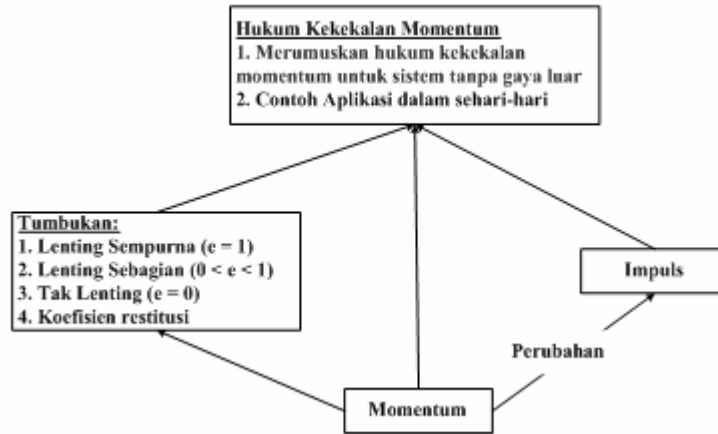
13. Sebuah benda bermassa m kg bergerak di atas papan kasar dengan kecepatan 10 m/s. Jika besar koefisien gesekan $0,25$, hitunglah waktu dan jarak yang ditempuh benda setelah benda berhenti ($g = 10$ m/s²).
14. Sebuah peluru yang massanya m kg akan ditembakkan dengan kecepatan 600 m/s oleh meriam yang panjangnya 6 m. Berapa besar gaya minimum yang diperlukan untuk menembakkan peluru sehingga keluar dari moncong meriam dengan kecepatan tersebut?
15. Sebuah gaya sebesar 80 newton bekerja pada benda bermassa $50\sqrt{3}$ kg. Arah gaya membentuk sudut 30° dengan horisontal. Hitung kecepatan benda setelah berpindah sejauh 10 m.
16. Sebuah benda dengan berat w Newton ($g = 10$ m/s²) 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.
17. 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/s²)
18. 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/s²)
19. Sebuah batu bermassa $0,2$ kg ($g = 10$ m/s²) 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?
20. Di dalam suatu senapan angin terdapat sebuah pegas dengan konstanta pegas 25.000 dyne/cm. Ketika peluru dimasukkan, per memendek sejauh 2 cm. Hitunglah berapa kecepatan peluru ketika keluar dari senapan itu. Gesekan peluru dengan dinding senapan diabaikan, massa peluru 5 gram.

BAB 5 MOMENTUM DAN IMPULS



Gambar di atas adalah salah satu contoh peristiwa dari konsep momentum dan impuls. Masih banyak lagi di sekitar kita tentang peristiwa yang menggambarkan 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 masalah keseharian dan teknologi. Kejadian yang berkaitan dengan peristiwa tumbukan dapat dijelaskan dengan hukum kekekalan momentum dan impuls. Ada tiga jenis tumbukan berdasarkan elastisitasnya (kelentingannya), yaitu tumbukan lenting sempurna, tak lenting sama sekali dan lenting sebagian.

PETA KONSEP



Prasyarat

Agar dapat mempelajari bab ini anda harus telah menguasai vektor, gerak dan gaya, usaha dan energi. Materi gerak meliputi gerak lurus dan gerak lengkung (gerak parabola dan gerak melingkar). Selain gaya yang berkaitan dengan hukum-hukum Newton, anda harus menguasai juga gaya gesek.

Cek Kemampuan

1. Momentum adalah besaran vektor. Apakah pernyataan tersebut benar? Berikan alasan jawaban anda.
2. Seorang tentara menembak dengan senjata laras panjang. Mengapa tentara tersebut meletakkan gagang senjata pada bahunya? Berikan penjelasan anda berkaitan dengan impuls dan momentum.
3. Anda bersepeda motor dengan kelajuan tinggi, tiba-tiba sepeda motor berhenti mendadak dan anda terpelanting melampaui setir. Mengapa anda dapat terpelanting melampaui setir?
4. 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** merupakan besaran vektor yang besarnya berbanding lurus dengan massa dan kecepatan benda atau hasil kali antara massa dan kecepatan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p = mv \quad (5.1)$$

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 menggunakan persamaan 5.1, maka kita mendapatkan besarnya momentum truk tersebut sebesar $\rightarrow p = mv = 30.000 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m/s} = 600.000 \text{ kg.m/s} = 6 \cdot 10^5 \text{ kg.m/s}$.

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**. Impuls juga merupakan besaran vektor. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = F \cdot \Delta t \quad (5.2)$$

dengan:

I = impuls (N.s)

F = gaya (N)

Δt = selang waktu kontak antara gaya dengan benda (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:

$$I = F \cdot \Delta t = 45 \text{ N} \cdot 0,1 \text{ s} = 4,5 \text{ N.s}$$

5.2 Impuls sebagai perubahan Momentum

Pada suatu benda yang bermassa m bekerja gaya F yang konstan, maka setelah waktu Δt benda tersebut bergerak dengan kecepatan :

$$v_t = v_o + a \cdot \Delta t \quad (5.3)$$

Menurut Hukum II Newton:

$$F = ma \quad (5.4)$$

$$a = \frac{F}{m}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 5.4 ke persamaan 5.3, maka diperoleh:

$$v_t = v_o + \frac{F}{m} \cdot \Delta t \quad (5.5)$$

$$F \cdot \Delta t = mv_t - mv_0 \quad (5.6)$$

Dengan:

$m v_t$ = momentum benda pada saat kecepatan v_t

$m v_0$ = momentum benda pada saat kecepatan v_0

Momentum merupakan hasil kali massa sebuah benda dengan kecepatan benda itu pada suatu saat. Momentum merupakan besaran vektor yang arahnya searah dengan kecepataannya. Satuan dari momentum adalah kg m/s atau gram cm/s. **Impuls** adalah hasil kali gaya dengan lamanya waktu kontak antara gaya dengan benda. Impuls merupakan besaran vektor yang arahnya searah dengan arah gayanya.

Perubahan momentum suatu benda dapat diakibatkan oleh adanya impuls yang bekerja pada benda tersebut yang besarnya juga sama dengan impuls tersebut.

IMPULS = PERUBAHAN MOMENTUM

Contoh Soal 3:

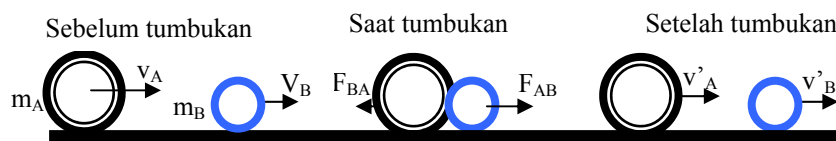
Sebuah bola golf mula-mula diam, kemudian dipukul hingga kecepataannya menjadi 8 m/s. Jika massa bola 150 gram dan lamanya waktu stick bersentuhan dengan bola 0,02 s. Berpakah besarnya gaya yang mendorong bola tersebut?

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan 5.6, maka besarnya gaya dapat diperoleh

$$\text{yaitu: } F = \frac{mv_t - mv_0}{\Delta t} = \frac{0,15 \text{ kg}(8 - 0)}{0,02 \text{ s}} = \frac{1,2 \text{ kgm/s}}{0,02 \text{ s}} = 60 \text{ N}$$

5.3 Hukum Kekekalan Momentum



Gambar 5.1 Benda A dan B Sebelum, saat dan setelah tumbukan

Misalkan benda A dan B masing-masing mempunyai massa m_A dan m_B dan masing-masing bergerak segaris dengan 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 :

$$F_{AB} = - F_{BA} \quad (5.7)$$

$$F_{AB} \cdot \Delta t = - F_{BA} \cdot \Delta t$$

$$(\text{impuls})_A = (\text{impuls})_B$$

$$m_A v'_A - m_A v_A = - (m_B v'_B - m_B v_B)$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \quad (5.8)$$

Jumlah momentum dari A dan B sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama. Hukum ini disebut **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?

Penyelesaian:

Mula-mula peluru dan senapan diam, jadi:

$$v_s = v_p = 0$$

sehingga,

$$m_s v_s + m_p v_p = m_s v'_s + m_p v'_p$$

$$c. = 4 \cdot v'_s + 0,005 \text{ kg} \cdot 200 \text{ m/s}$$

$$v'_s = -0,25 \text{ m/s}$$

Kecepatan senapan pada saat peluru ditembakkan 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 seorang nelayan yang ada diburitan terjatuh, jika massa perahu 180 kg. Berapakah kecepatan perahu sekarang?

Penyelesaian:

Momentum mula-mula (perahu dan nelayan):

$$p_1 = (2m_o + m_p) \cdot v_p = (2 \cdot 60 \text{ kg} + 180 \text{ kg}) \cdot 5 \text{ m/s} = 1500 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Momentum setelah seorang nelayan terjatuh:

$$p_2 = (m_o + m_p) \cdot v'_p = (60 \text{ kg} + 180 \text{ kg}) \cdot v'_p = 240 \text{ kg} \cdot v'_p$$

Sehingga menurut hukum kekekalan momentum, maka $P_1 = P_2$.

$$1500 \text{ kg.m/s} = 240 \text{ kg. } v'_p$$

$$v'_p = 6,25 \text{ m/s}$$

5.4 Tumbukan

Pada setiap jenis tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum tetapi tidak selalu berlaku hukum kekekalan energi mekanik. Sebab disini sebagian energi mungkin diubah menjadi panas akibat tumbukan atau terjadi perubahan bentuk.

Jenis-jenis tumbukan yaitu:

Tumbukan elastis sempurna, yaitu tumbukan yang tak mengalami perubahan energi mekanik. Koefisien restitusi $e = 1$, berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi mekanik (karena pada kedudukan/posisi sama, maka yang diperhitungkan hanya energi kinetiknya)

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 $0 < e < 1$.

Tumbukan tidak elastis, yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik dan kedua benda setelah tumbukan melekat dan bergerak bersama-sama ($v_A = v_B$). Koefisien restitusi $e = 0$. Pada ketiga jenis tumbukan di atas berlaku hukum kekekalan momentum linier yaitu jumlah momentum sebelum tumbukan dengan sesudah tumbukan besarnya sama.

$$\Sigma p_{\text{sebelum}} = \Sigma p_{\text{sesudah}}$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \quad (5.9)$$

Besarnya koefisien restitusi (e) untuk semua jenis tumbukan berlaku :

$$e = -\frac{v'_A - v'_B}{v_A - v_B} \quad (5.10)$$

v'_A ; v'_B = kecepatan benda A dan B setelah tumbukan

v_A ; v_B = kecepatan benda A dan B sebelum tumbukan

Energi kinetik yang hilang setelah tumbukan dirumuskan:

$$E_{\text{hilang}} = \Sigma E_K \text{ sebelum tumbukan} - \Sigma E_K \text{ sesudah tumbukan}$$

$$E_{\text{hilang}} = \left\{ \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \right\} - \left\{ \frac{1}{2} m_A (v'_A)^2 + \frac{1}{2} m_B (v'_B)^2 \right\} \quad (5.11)$$

Untuk menyelesaikan persoalan tumbukan Anda dapat memanfaatkan persamaan .9, 5.10 dan 5.11 dengan menyesuaikan jenis tumbukan yang diselesaikan.

Pada kehidupan sehari-hari kita sering menjumpai peristiwa tumbukan seperti bola yang di jatuhkan secara bebas dari ketinggian tertentu di atas lantai.

Tumbukan terjadi antara bola dengan lantai, jika bola dijatuhkan dari ketinggian h meter dari atas lantai. Kecepatan bola saat menumbuk lantai dapat dicari dengan persamaan :

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

Kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan adalah 0.

$$v_B = v_B' = 0$$

Dengan memasukkan persamaan tumbukan elastis sebagian :

$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$$

diperoleh :

$$e = -\frac{v_A' - 0}{v_A - 0} = \frac{v_A'}{v_A}$$

dengan demikian diperoleh : $e = \sqrt{\frac{h'}{h}}$

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 :

$$\begin{aligned} \text{Sumbu x berlaku:} \quad m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} &= m_1 v_{1x}' + m_2 v_{2x}' \\ m(3) + 0 &= m(1,2) + m v_{2x}' \\ v_{2x}' &= 1,8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sumbu y berlaku:} \quad m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} &= m_1 v_{1y}' + m_2 v_{2y}' \\ 0 + m(-2) &= 0 + m v_{2y}' \\ v_{2y}' &= -2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Contoh Soal 7:

Sebuah batu 2 kg bergerak dengan kecepatan 6 m/s. Hitunglah gaya F yang dapat menghentikan batu itu dalam waktu $7 \cdot 10^{-4}$ detik.

Penyelesaian:

$$\text{Impuls} = F \cdot t = m (v - v_0)$$

$$F \cdot (7 \cdot 10^{-4}) = 2 (0 - 6) ; \text{ jadi } F = - 1,71 \cdot 10^4 \text{ Newton.}$$

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 system yang ditinjau. Tidak ada gaya resultan dari luar pada system (dorongan dari gadis terhadap yang lain adalah gaya internal) dan dengan demikian momentum dikekalkan.

Momentum sebelum = momentum sesudah, sehingga $0 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$

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

5.6 Rangkuman

1. Momentum merupakan hasil kali massa sebuah benda dengan kecepatan benda itu pada suatu saat. Momentum merupakan besaran vektor yang arahnya searah dengan kecepataannya.
2. Impuls merupakan perubahan momentum yaitu hasil kali gaya dengan waktu yang ditempuhnya. Impuls merupakan besaran vektor yang arahnya searah 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, jumlah momentum sebelum tumbukan = jumlah momentum setelah tumbukan

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 diderita bola.

2. Dua buah benda massanya 5 kg dan 12 kg bergerak dengan kecepatan masing-masing 12 m/s dan 5 m/s dan berlawanan arah. Jika bertumbukan sentral, hitunglah :
 - a. Kecepatan masing-masing benda dan hilangnya energi jika tumbukannya elastis sempurna.
 - b. Kecepatan masing-masing benda dan energi yang hilang jika tumbukannya tidak elastis sama sekali.

3. Massa perahu sekoci 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. 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 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 bergferak 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 $1\frac{1}{2}$ m di atas sebuah lantai lalu memantul setinggi 0,9 m. Hitunglah koefisien restitusi antara bola dan lantai

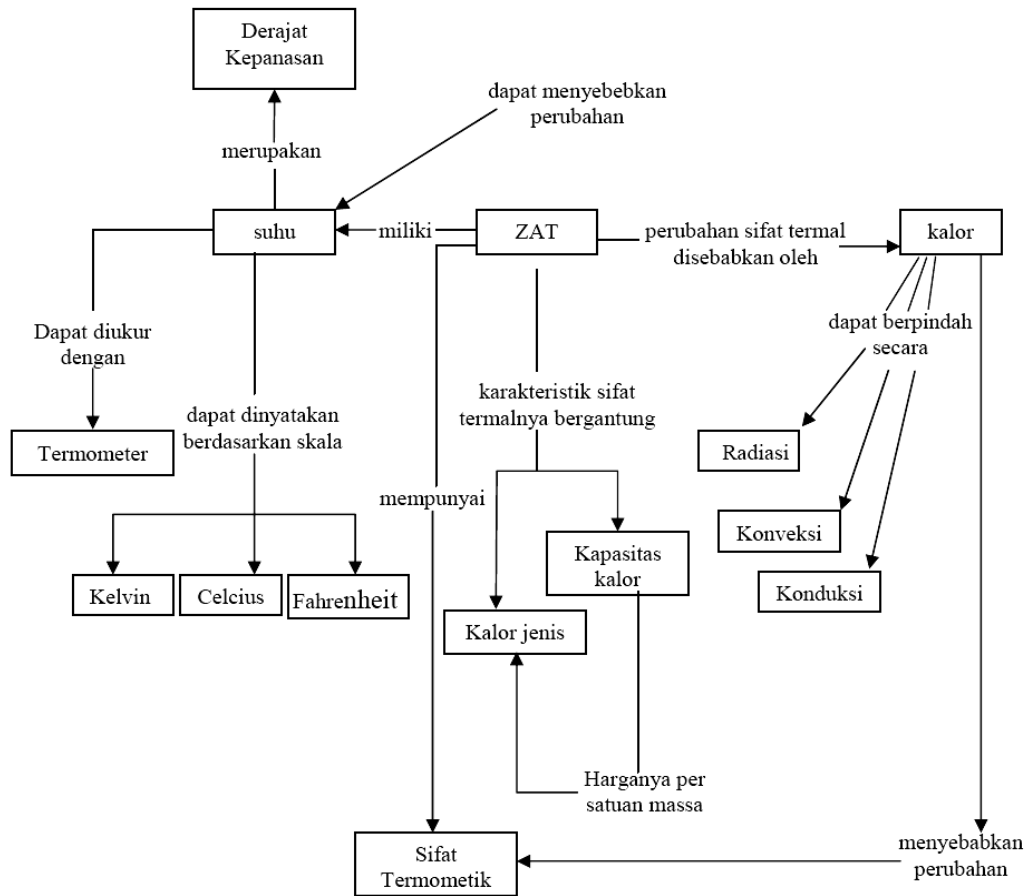
8. Sebuah truk dengan berat 60.000 newton bergerak ke arah utara dengan kecepatan 8 m/s bertumbukan dengan truk lain yang massanya 4 ton dan bergerak ke Barat dengan kecepatan 22 m/s. Kedua truk menyatu dan bergerak bersama-sama. Tentukan besar dan arah kecepatan truk setelah tumbukan.
9. Dua buah benda A dan B yang masing-masing massanya 20 kg dan 40 kg bergerak sejaris lurus saling mendekati. A bergerak dengan kecepatan 10 m/s dan B bergerak dengan 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 tumbukan. Peluru mengeram di dalam ayunan. Hitunglah energi yang hilang.

BAB 6 TEMPERATUR DAN KALOR



▲ *Why would someone designing a pipeline include these strange loops? Pipelines carrying liquids often contain loops such as these to allow for expansion and contraction as the temperature changes. We will study thermal expansion in this chapter. (Lowell Georgia/CORBIS)*

Peta Konsep



Pra Syarat

Untuk dapat mengerti pembahasan bab ini dengan baik, Anda diharapkan telah mempelajari dan mengerti tentang masalah pengukuran temperatur, tekanan, perpindahan panas pada zat padat, cair, gas.

Cek kemampuan

1. Apakah yang terjadi bila benda bertemperatur tinggi ditempelkan pada benda bertemperatur rendah.?
2. Bagaimana menghitung temperatur ruang?
3. Bagaimana menghitung temperatur pada zat padat?
4. Bagaimana menghitung tekanan pada ruang
5. Bagaimana hantaran panas konveksi, radiasi, konduksi

6.1 PENGUKURAN TEMPERATUR

Temperatur biasanya dinyatakan sebagai fungsi salah satu koordinat termodinamika. Koordinat ini disebut sebagai sifat ketermodinamikaan suatu benda. Pengukuran temperatur mengacu pada satu harga temperatur tertentu yang biasanya disebut *titik tetap*. Sebagai titik tetap dapat dipakai *titik tripel air*, yaitu temperatur tertentu pada saat air, es, dan uap air berada dalam kesetimbangan fase. Temperatur titik tripel air, $T_p = 273,16$ Kelvin.

Persamaan yang menyatakan hubungan antara temperatur dan sifat termometriknya berbentuk:

$$T(x) = 273,16 \cdot \frac{x}{x_{tp}} \text{ Kelvin} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

dengan

- x = besaran yang menjadi sifat termometriknya
- x_{tp} = harga x pada titik tripel air
- $T(x)$ = fungsi termometrik

Alat untuk mengukur temperatur disebut *termometer*. Beberapa bentuk fungsi termometrik untuk berbagai termometer seperti berikut ini:

1. *Termometer gas volume tetap.*

$$T(P) = 273,16 \cdot \frac{P}{P_{tp}} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

dengan P = tekanan yang ditunjukkan termometer pada saat pengukuran.

P_{tp} = tekanan yang ditunjukkan termometer pada temperatur titik tripel air.

2. *Termometer hambatan listrik.*

$$T(R) = 273,16 \frac{R}{R_{tp}} \text{ Kelvin} \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

dengan, R = harga hambatan yang ditunjukkan termometer pada saat pengukuran dan R_{tp} = harga hambatan yang ditunjukkan termometer pada temperatur titik tripel air.

3. *Termometer termokopel.*

$$T(\varepsilon) = 273,16 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{tp}} \text{ Kelvin} \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

dengan ε = tegangan yang ditunjukkan termometer pada saat pengukuran.

ε_{tp} = tegangan yang ditunjukkan termometer pada temperatur titik tripel air.

6.2 TEMPERATUR GAS IDEAL, TERMOMETER CELCIUS, DAN TERMOMETER FAHRENHEIT

Perbedaan jenis gas yang digunakan pada termometer gas volume tetap memberikan perbedaan harga temperatur dari zat yang diukur. Akan tetapi, dari hasil eksperimen didapatkan bahwa jika P_{tp} dari setiap jenis gas pada termometer gas volume tetap tersebut harganya dibuat mendekati Nol ($P_{tp} \rightarrow 0$), maka hasil pengukuran temperatur suatu zat menunjukkan harga yang sama untuk setiap jenis gas yang digunakan.

Harga temperatur yang tidak bergantung pada jenis gas (yang digunakan pada termometer gas volume tetap) disebut *temperatur gas ideal*. Fungsi termometrik untuk temperatur gas ideal adalah:

$$T = 273,16 \lim_{P_{tp} \rightarrow 0} \left(\frac{P}{P_{tp}} \right) \text{ Kelvin} \quad \dots\dots\dots (6.5)$$

Termometer Celcius mengambil patokan titik lebur es/titik beku air sebagai titik ke nol derajat (0°C) dan titik didih air sebagai titik ke seratus derajat (100°C). Semua patokan tersebut diukur pada tekanan 1 atmosfer standar.

Termometer Celcius mempunyai skala yang sama dengan temperatur gas ideal. Harga titik tripel air menurut termometer Celcius adalah:

$$\tau_{tp} = 0,01^{\circ}C$$

Hubungan antara temperatur Celcius dan temperatur Kelvin dinyatakan dengan:

$$\tau(^{\circ}C) = T(K) - 273,15 \quad \dots\dots\dots (6.6)$$

Termometer Fahrenheit mengambil patokan titik lebur es/titik beku air sebagai skala yang ke $-32^{\circ}F$ dan titik didih air sebagai skala yang ke $-212^{\circ}F$.

Hubungan antara Celcius dan Fahrenheit dinyatakan dengan:

$$\tau_C(^{\circ}C) = \left(32 + \frac{9}{5} \tau_F \right)^{\circ} F \quad \dots\dots\dots (6.7a)$$

Atau

$$\tau_F(^{\circ}F) = \frac{5}{9} (\tau_C - 32)^{\circ} C \quad \dots\dots\dots (6.7b)$$

Contoh soal 1.

Seorang siswa mengukur temperatur suatu benda dengan termometer Celcius. Hasil pengukuran menunjukkan benda tersebut bertemperatur $80^{\circ}C$. Berapa temperatur tersebut jika diukur dengan temperatur Fahrenheit dan Kelvin?

Penyelesaian:

$$\tau_C(^{\circ}C) = \left(32 + \frac{9}{5} \tau_C \right)^{\circ} F = \tau_C(^{\circ}C) = \left(32 + \frac{9}{5} 80 \right)^{\circ} F = 176^{\circ}F \text{ dan}$$

$$T_K = T_C + 273,15 = 80 + 273,15 = 353,15 K$$

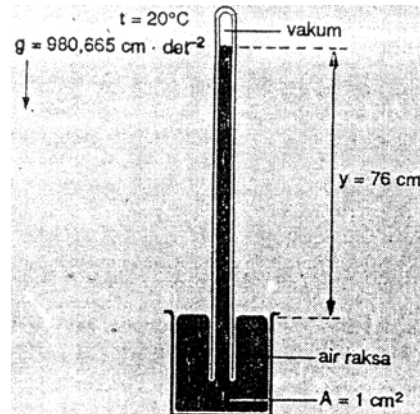
6.3 TEKANAN

Tekanan didefinisikan sebagai besaran gaya normal yang menekan bidang persatuan luas bidang. Tekanan adalah besaran skalar dan satuan tekanan menurut SI adalah Pascal disingkat Pa, dimana $1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2}$.

Tekanan atmosfer adalah tekanan yang dilakukan oleh udara bebas pada suatu dinding atau permukaan. Satuan tekanan juga sering dinyatakan dengan satuan atmosfer. Harga satu atmosfer berbeda-beda di setiap

tempat, bergantung pada ketinggian dan temperatur, tetapi besarnya satu atmosfer standar ditetapkan oleh perjanjian internasional.

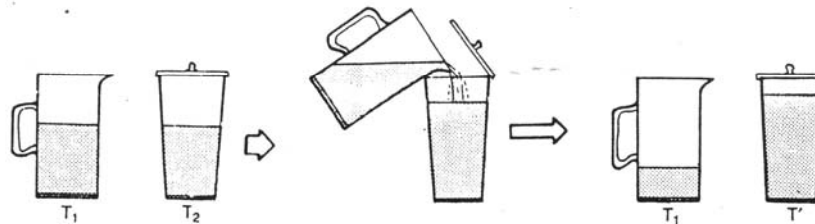
Satu atmosfer standar adalah besarnya tekanan yang sama dengan tekanan hidrostatik yang ditimbulkan oleh air raksa di dalam kolom air raksa yang luas penampangnya 1 cm^2 dan tingginya 76 cm . Pengukuran dilakukan pada temperatur 20°C dan rapat massa air raksa sebesar $\rho = 13,5951 \text{ gram/cm}^3$, di suatu tempat yang harga percepatan grafitasinya $g = 980,665 \text{ cm} \cdot \text{det}^{-2}$.



Gambar 6.2 Pengukuran tekanan

6.4 ASAS BLACK DAN KALORIMETRI

Apabila pada kondisi adiabatik dicampurkan 2 jenis zat yang temperaturnya mula-mula berbeda, maka pada saat *tercapai kesetimbangan*, banyaknya kalor yang dilepas oleh zat yang temperaturnya mula-mula tinggi sama dengan banyaknya kalor yang diserap oleh zat yang temperaturnya mula-mula rendah.



Gambar 6.3 Pencampuran air yang berbeda temperatur

Pernyataan di atas dikenal sebagai asas Black. Gambar di atas menunjukkan pencampuran 2 jenis zat yang menurut asas Black berlaku:

$$Q_{\text{yang dilepas}} = Q_{\text{yang diserap}}$$

Atau,

$$m_1 \cdot c_1 (T_1 - T') = m_2 \cdot c_2 \cdot (T' - T_2) \quad (6.8)$$

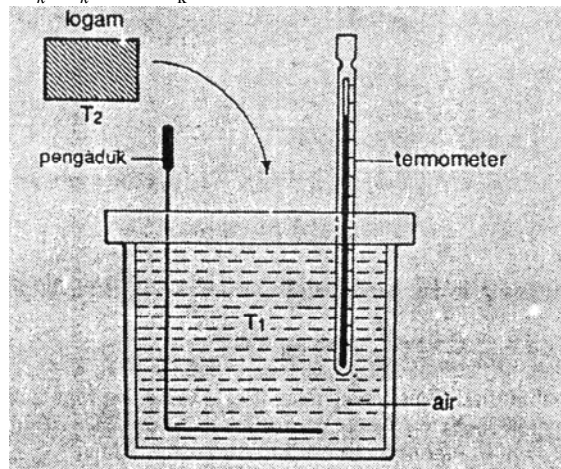
dimana c_1 dan c_2 menyatakan kalor jenis zat 1 dan zat 2 serta T' adalah temperatur kesetimbangan.

Apabila diketahui harga kalor jenis suatu zat, maka dapat ditentukan harga kalor jenis zat yang lain berdasarkan asas Black. Prinsip pengukuran seperti ini disebut **kalorimetri**. Alat pengukur kalor jenis zat berdasarkan prinsip kalorimetri disebut **kalorimeter**. Bagan dari kalorimeter ditunjukkan oleh Gambar 6.4. Tabung bagian dalam kalorimeter terbuat dari logam (biasanya aluminium atau tembaga) dan sudah diketahuik kalor jenisnya. Tabung tersebut diisi air hingga penuh logam yang akan diukur panas jenisnya dipanaskan dulu dan kemudian dimasukkan ke dalam kalorimeter.

Pada setiap kalorimeter biasanya diketahui kapasitas panasnya yang disebut *harga air kalorimeter* (H_a) yaitu hasil kali antara massa kalorimeter dengan kalor jenisnya. Jadi kalor yang diserap oleh kalorimeter dapat dituliskan sebagai:

$$Q_k = M_k \cdot c_k \cdot T \quad \text{atau} \quad Q_k = H_a \cdot \Delta T$$

dengan $H_a = M_k \cdot c_k$. dan M_k : massa kalorimetri.



Gambar 6.4 Bagan kalorimeter

6.5 HANTARAN KALOR

Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Kalor dapat mengalir dari suatu tempat ke tempat lainnya melalui 3 cara, yaitu secara *konduksi*, *konveksi*, dan *radiasi*

Konduksi kalor pada suatu zat adalah perambatan kalor yang terjadi melalui vibrasi molekul-molekul zat tersebut di mana tidak disertai perpindahan dari media penghantar kalor. Pada saat terjadi konduksi kalor, molekul-molekul zat tidak berpindah tempat (relatif diam). Laju aliran kalor konduksi dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{\delta Q}{dt} = -KA \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

untuk K menyatakan konduktivitas termal, A adalah luas penampang zat yang dilalui kalor, t adalah waktu aliran, dan x adalah jarak yang ditempuh aliran kalor tersebut. Harga $\frac{dT}{dx}$ disebut *gradien temperatur*. Untuk zat

padat yang homogen harga $\frac{dT}{dx}$ mendekati harga $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ atau $\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{\Delta x}$.

Konduktivitas termal K untuk zat padat pada umumnya konstan dan untuk setiap jenis zat mempunyai harga K tertentu.

Pada konveksi kalor, molekul-molekul yang menghantarkan kalor ikut bergerak sesuai dengan gerak aliran kalor. Aliran kalor terjadi pada fluida (zat cair dan gas) yang molekul-molekulnya mudah bergerak. Laju aliran kalor konveksi dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{\delta Q}{dt} = h A \Delta T \quad \dots\dots\dots (6.9)$$

h disebut koefisien konveksi kalor yang harganya bergantung dari berjenis-jenis faktor, seperti viskositas, bentuk permukaan zat, dan jenis fluida. Persamaan (6.9) diperoleh secara empiris.

Radiasi kalor adalah kalor yang dihantarkan dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. *Energi radiasi* per satuan waktu persatuan luas yang dipancarkan oleh suatu benda disebut *daya radiasi*. Daya radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam pada temperatur T dinyatakan dengan hukum Stefan – Boltzmann:

$$R_{\beta} = \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots (6.10)$$

dengan R_b menyatakan daya radiasi yang dipancarkan oleh benda-benda hitam dan σ adalah suatu konstanta yang harganya,
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ watt m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Untuk benda yang bukan benda hitam :

$$R = e \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots (6.11)$$

e adalah faktor emisivitas yang harganya $0 < e < 1$ dan untuk benda hitam $e = 1$. Besaran δQ menyatakan sejumlah kecil kalor yang mengalir dalam interval waktu dt . Jadi $\frac{\delta Q}{dt}$ menyatakan laju aliran kalor.

Jika suatu benda yang luas permukaannya A dan temperaturnya T_2 menyerap energi radiasi yang dipancarkan oleh benda lain yang temperaturnya T_1 ($T_1 > T_2$), maka benda pertama akan terjadi perpindahan kalor sebesar :

$$\frac{\delta Q}{dt} = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots\dots\dots (6.12)$$

ε adalah suatu konstanta berdimensi luas yang bergantung pada luas permukaan dan emisivitas kedua benda.

CONTOH SOAL

1. Pada permukaan titik tripel air, tekanan gas pada termometer gas menunjukkan 6,8 atmosfer (atm).
 - a. Berapakah besarnya temperatur suatu zat yang pada waktu pengukuran menunjukkan tekanan sebesar 10,2 atm?
 - b. Berapakah besarnya tekanan yang ditunjukkan termometer jika temperatur zat yang diukur besarnya 300 Kelvin?

Penyelesaian:

$$\text{a. } T = 273,16 \times \frac{P}{P_{tp}} = 273,16 \times \frac{10,2}{6,8} = 409,74 \text{ Kelvin}$$

$$\text{b. } T = 273,16 \times \frac{P}{P_{tp}}$$

$$P = \frac{T \times P_p}{273,16} = \frac{300 \times 6,8}{273,16} = 7,49$$

2. Dengan menggunakan termometer hambatan listrik platina, didapatkan harga hambatan termometer pada titik tripel air sebesar $R_{tp} = 9,83$ ohm.
- Berapakah besarnya temperatur suatu benda yang pada saat pengukuran menunjukkan hambatan termometer sebesar 16,31 ohm?
 - Berapakah besarnya hambatan yang ditunjukkan termometer jika benda yang diukur mempunyai temperatur 373,16 Kelvin?

Penyelesaian:

$$a. \quad T = 273,16 \times \frac{R}{R_{tp}} = 273,16 \times \frac{16,31}{9,83} = 453,23 \text{ Kelvin.}$$

$$b. \quad T = 273,16 \times \frac{R}{R_{tp}}$$

$$R = \frac{T \times R_{tp}}{273,16} = \frac{373,16 \times 9,83}{273,16} = 13,43 \text{ ohm}$$

3. Suatu gas mempunyai temperatur -5°C .
- Tentukan besarnya temperatur gas tersebut dalam skala Kelvin!
 - Tentukan besarnya temperatur gas tersebut dalam skala Fahrenheit!

Penyelesaian:

$$a. \quad t = (T - 273,15)^{\circ}\text{C.}$$

$$T = (t + 273,15) \text{ K}$$

karena $t = -5^{\circ}\text{C.}$, maka $T = 268,15 \text{ K}$

$$b. \quad t' = \left(\frac{9}{5}t + 32 \right)^{\circ}\text{F}$$

$$= \left(\frac{9}{5} \times (-5) + 32 \right)^{\circ}\text{F} = 23^{\circ}\text{F}$$

4. Tentukan temperatur suatu benda dalam skala derajat celsius yang mempunyai nilai sama dengan skala Fahrenheit.

Penyelesaian:

$$\tau_C = \tau_F$$

$$\tau_C = \frac{9}{5} \tau_C + 32$$

$$\frac{4}{5} \tau_C = -32$$

$$\tau_C = -40$$

Jadi, harga temperatur tersebut -40°C atau -40°F .

5. Pesawat ulang-alik Colombia menggunakan helium cair sebagai bahan bakar utama roketnya. Helium mempunyai titik didih $5,25$ Kelvin. Tentukan besarnya titik didih helium dalam $^\circ\text{C}$ dan dalam $^\circ\text{F}$!

Penyelesaian:

Titik didih helium.

$$T = 273,15 = 5,25 + \tau$$

$$\tau = T - 273,15 = 5,25 - 273,15$$

$$\tau = -268,9^\circ\text{C}$$

Dalam skala Fahrenheit:

$$\tau = \frac{9}{5} t + 32$$

$$= \frac{9}{5} \times (-268,9) + 32$$

$$= -484,02 + 32$$

$$= -452,02^\circ\text{F}$$

6. Apabila tekanan 1 atmosfer standar dinyatakan dalam satuan Pascal, berapakah tekanan tersebut?

Penyelesaian:

Berdasarkan Gambar 1.5, dapat dihitung besarnya tekanan hidrostatik dari kolom air raksa:

$$P = \rho g y$$

$$\rho = 13,5951 \text{ gr cm}^{-3} = 13,595,1 \text{ kg m}^{-3}$$

$$g = 980,665 \text{ cm det}^{-2} = 9,80665 \text{ m det}^{-2}$$

$$y = 76 \text{ cm} = 0,76 \text{ m}$$

$$P = 13,595,1 \times 9,80665 \times 0,76 \text{ Pa}$$

$$= 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Jadi,

$$1 \text{ atm standar} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pascal}$$

Catatan: 1 bar adalah satuan tekanan yang besarnya sama dengan 10^5 Pa. Harga 1 bar adalah mendekati harga 1 atm standar, karena itu untuk pemakaian praktis sehari-hari kita biasanya menyamakan 1 bar = 1 atm standar.

7. Andaikan peralatan seperti pada Gambar 1.5 cairannya diganti dengan air murni yang kerapatannya $\rho = 1 \text{ gram/cm}^3$, berapakah tinggi air di dalam kolom untuk tekanan 1 atmosfer standar?

Penyelesaian:

$$P = \rho g y$$

Atau,

$$\begin{aligned} y &= \frac{P}{\rho g} \\ &= \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kgm}^{-3} \cdot 9,8 \text{ m}^2} \\ &= 10,34 \text{ m} \end{aligned}$$

8. Sebuah lempeng kaca tebalnya 20 cm, luas permukaannya 1 m^2 dan konduktivitas termalnya $1,3 \text{ watt m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, mempunyai beda temperatur antara dua permukaannya sebesar $\Delta T = 30^\circ\text{C}$. Hitunglah laju aliran konduksi kalor di dalam lempeng kaca tersebut.

Penyelesaian:

Anggap bahwa kaca tersebut homogen.

$$\begin{aligned} \frac{\delta Q}{dt} &= K A \frac{dT}{dx} \\ &= 1,3 \times 1 \times \frac{30}{20 \times 10^{-2}} \text{ J/det} \\ &= 195 \text{ J/det} \end{aligned}$$

9. Sebuah lempeng terdiri dari 2 lapisan bahan yang tebalnya masing-masing L_1 dan L_2 dan konduktivitas termalnya K_1 dan K_2 . Jika luas penampang lempeng tersebut adalah A , buktikan bahwa laju aliran kalor pada lempeng tersebut dapat dinyatakan dengan

$$\frac{\delta Q}{dt} = \frac{A \Delta T}{\left[\frac{L_1}{K_1} \right] + \left[\frac{L_2}{K_2} \right]} \quad \dots\dots (6.17)$$

ΔT adalah beda temperatur antara dua permukaan lempeng.

Penyelesaian:

$$\text{Untuk lapisan 1 : } \left(\frac{\delta Q}{dt} \right)_1 = K_1 A \frac{(T_1 - T)}{L_1} \quad \dots\dots (6.13)$$

$$\text{Untuk lapisan 2 : } \left(\frac{\delta Q}{dt} \right)_2 = K_2 A \frac{(T - T_2)}{L_2} \quad \dots\dots (6.14)$$

Untuk aliran *Steady* (tunak),

$$\left[\frac{\delta Q}{dt} \right]_1 = \left[\frac{\delta Q}{dt} \right]_2 = \left[\frac{\delta Q}{dt} \right]$$

$$\frac{K_1 A (T_1 - T)}{L_1} = \frac{K_2 A (T - T_2)}{L_2} \quad \dots\dots (6.15)$$

Dengan mengubah $(T - T_2) = (T - T_1) (T_1 - T_2)$ dan kemudian menyelesaikan persamaan (6.15) dihasilkan,

$$(T_1 - T) = \frac{\left[\frac{K_2}{L_2} \right] (T_1 - T_2)}{\left[\frac{K_1}{L_1} + \frac{K_2}{L_2} \right]} = \frac{\left[\frac{K_2}{L_2} \right] \Delta T}{\left[\frac{K_1}{L_1} + \frac{K_2}{L_2} \right]} \quad (6.16)$$

Substitusikan persamaan (6.16) ke dalam persamaan (6.13) sehingga didapatkan,

$$\left(\frac{\delta Q}{dt} \right)_1 = \left(\frac{\delta Q}{dt} \right) = \frac{A \Delta T}{\left[\frac{L_1}{K_1} \right] + \left[\frac{L_2}{K_2} \right]} \quad \Leftarrow \text{persamaan (6.17)}$$

10. Hitung besarnya daya radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam ($e = 1$) yang mempunyai temperatur 400 K.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} R = e \sigma T^4 &= 1.5,67 \times 10^{-8} \text{ watt m}^{-2} \text{ K}^{-4} \cdot (400 \text{ K})^4 \\ &= 362,88. \text{ watt.m}^{-2} \end{aligned}$$

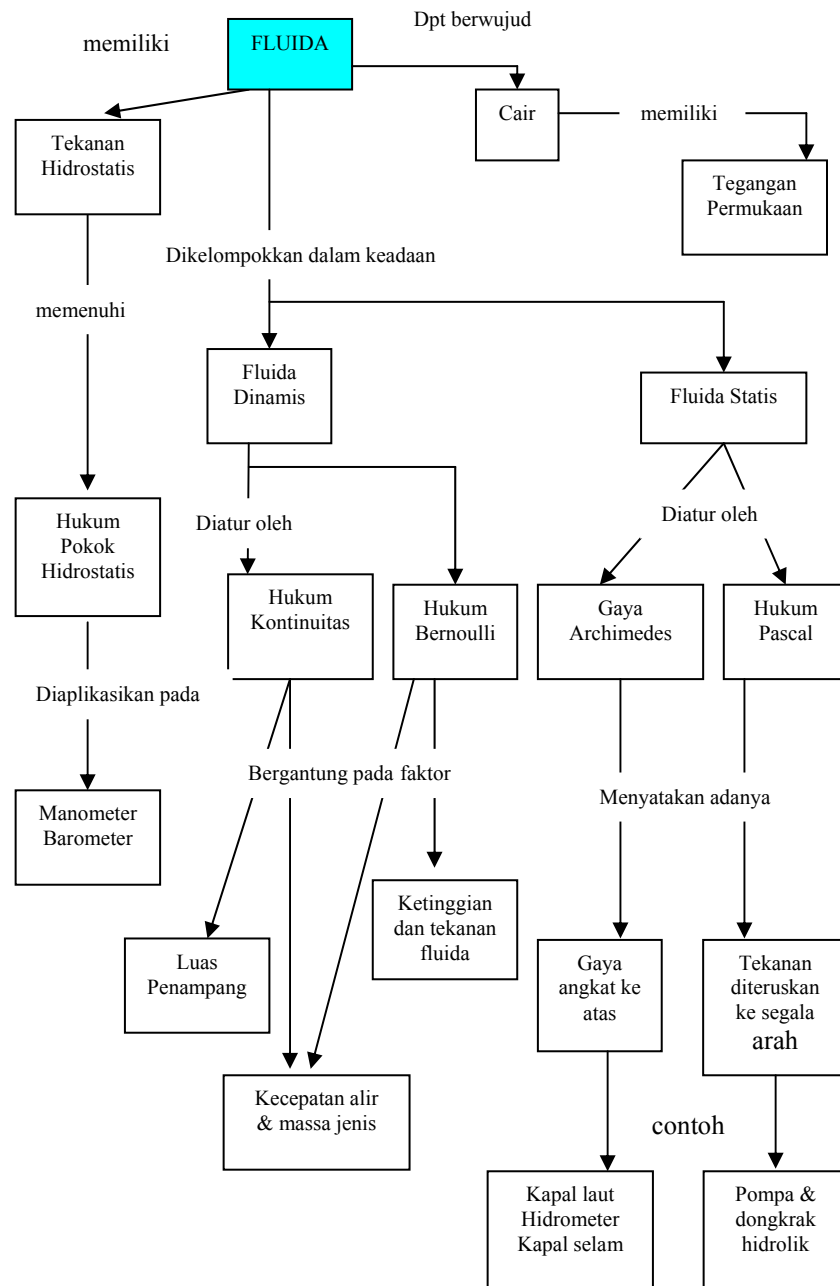
11. Dua buah benda hitam yang berukuran dan bentuk sama mempunyai temperatur 400 K dan 800 K. Berapakah perbandingan daya radiasi kalor yang dipancarkan oleh kedua benda tersebut.

BAB 7 DINAMIKA FLUIDA



Fluida merupakan zat yang tidak mempunyai bentuk permanen dengan volume yang sama, melainkan mengambil bentuk tempat sesuai yang ditempatinya serta memiliki kemampuan untuk mengalir. Dua zat yang umumnya disebut fluida adalah zat cair dan gas. Materi di bab ini difokuskan pada fluida zat cair. Ketika Anda menyelam ke dalam kolam air dengan posisi semakin ke dalam dari permukaan air kolam, di telinga akan terasa sakit yang semakin bertambah, apa yang menyebabkan ini? Di sisi lain kita bisa berada dalam keadaan melayang atau mengapung dalam air kolam, sedangkan kita mempunyai berat badan bagaimana fenomena itu bisa terjadi? Fenomena di atas diakibatkan oleh gejala fisis, yaitu tekanan hidrostatis yang diakibatkan oleh air kolam pada telinga dan gaya berat badan diseimbangkan oleh gaya apung air kolam. Besarnya gaya apung air kolam besarnya sama dengan berat air yang dipindahkan oleh badan kita yang tercelup dalam air kolam.

PETA KONSEP



7.1. FLUIDA STATIS

7.1.1. Cek Kemampuan Prasyarat

Sebelum Anda mempelajari materi Sub-bab ini, silakan Anda mengerjakan soal-soal berikut ini di buku latihan. Jika Anda dapat mengerjakan dengan baik dan benar, akan mempermudah Anda dalam mempelajari materi berikutnya.

1. (a). Sebutkan definisi dan satuan dalam SI untuk massa jenis?
(b). Nyatakan satuan dari massa jenis 1 gram/cm^3 ke dalam satuan kg/m^3 .
2. Sebuah bola beton berdiameter 20 cm memiliki massa 5 kg. Berapakah nilai massa jenis bola beton tersebut?
3. Apa yang dimaksud dan satuan dalam SI dari tekanan?

7.1.2. Tekanan

Tekanan adalah besaran fisika yang merupakan perbandingan antara gaya normal (tegak lurus) yang bekerja pada suatu bidang permukaan dengan luas bidang permukaan tersebut.

Rumus tekanan:

$$P = \frac{F}{A} \quad (7.1)$$

dengan F : gaya, dalam Newton dan A : luas bidang permukaan, dalam m^2 . Satuan tekanan dalam SI adalah *Pascal (Pa)* atau N/m^2 . $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

Beberapa satuan tekanan yang lain yang sering digunakan dalam beberapa keperluan adalah *atmosfer (atm)*, *centimeter Hg (cmHg)* dan *milibar (mb)*, *torr*.

$$1 \text{ mb} = 10^5 \text{ Pa} ; 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,01 \text{ mb.}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

Kegiatan 1. *Menghitung massa jenis.*

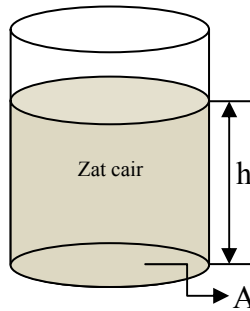
1. Ambil benda berbentuk kubus sebarang ukuran.
2. Ukur luas sisi kubus.
3. Timbang massa kubus.
4. Hitung berat kubus.
5. Letakkan kubus di permukaan lantai.
6. Tentukan besar tekanan yang diberikan kubus terhadap lantai yang diberikan oleh gaya berat kubus terhadap permukaan lantai. Nyatakan satuan tekanan dalam SI.

Tugas 1.

Tentukan besar tekanan yang diberikan oleh berat badan orang yang mempunyai massa 60 kg yang berdiri pada dua kakinya pada lantai, anggap luas kedua telapak kaki orang tersebut $2 \times 250 \text{ cm}^2$.

7.1.3. Hukum Pokok Hidrostatika

Tekanan zat cair dalam keadaan tidak mengalir dan hanya disebabkan oleh beratnya sendiri disebut **tekanan hidrostatika**. Besarnya tekanan hidrostatika suatu titik dalam zat cair yang tidak bergerak dapat diturunkan sebagai berikut:



Gambar 7.1. Zat cair dalam wadah silinder

Tinjau zat cair dengan massa jenis ρ berada dalam wadah silinder dengan luas alas A dan ketinggian h seperti pada gambar 7.1. Volume zat cair dalam wadah $V = A \times h$ sehingga berat zat cair dalam wadah adalah:

$$F = m \times g = \rho \times V \times g = \rho Ahg$$

dengan demikian tekanan hidrostatika di sebarang titik pada luas bidang yang diarsir oleh zat cair dengan kedalaman h dari permukaan adalah:

$$p_h = \frac{F}{A} = \frac{\rho gh \times A}{A} = \rho gh \quad (7.2)$$

dengan g : percepatan gravitasi, m/s^2 dan h : kedalaman titik dalam zat cair diukur dari permukaan zat cair, m.

Biasanya tekanan yang kita ukur adalah perbedaan tekanan dengan tekanan atmosfer, yang disebut **tekanan gauge** atau tekanan pengukur. Adapun tekanan sesungguhnya disebut tekanan mutlak, di mana:

Tekanan mutlak = tekanan gauge + tekanan atmosfer

$$p_h = p_{gauge} + p_{atm} \quad (7.3)$$

dengan tekanan atmosfer (p_0) = $1,01 \cdot 10^5$ Pa.

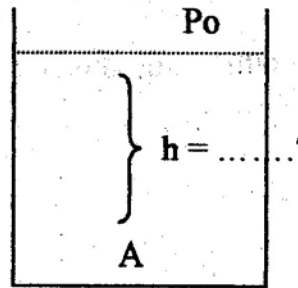
Perhatikan:

- Jika disebut tekanan pada suatu kedalaman tertentu maka yang dimaksud adalah tekanan mutlak.
- Jika tidak diketahui dalam soal, gunakan tekanan udara luar $p_0 = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Contoh soal 7.1

Berapa kedalaman suatu posisi penyelam dalam fluida tak bergerak (air) diukur dari permukaan yang mempunyai tekanan sebesar tiga kali tekanan udara luar. ($p_0 = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$).

Penyelesaian:



Tekanan hidrostatik titik A:

$$p_A = 3 p_0$$

$$\text{Besarnya } p_A = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

$$3 p_0 = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

$$3 p_0 - p_0 = \rho \cdot g \cdot h$$

$$2 p_0 = \rho \cdot g \cdot h$$

$$2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot h$$

jadi kedalaman posisi tersebut adalah $h=20 \text{ m}$ dari permukaan air.

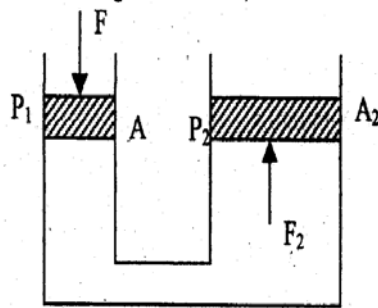
7.1.4. Hukum Pascal

Tekanan yang bekerja pada fluida statis dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah dengan sama rata dikenal **prinsip PASCAL**.

Tinjau sistem kerja penekan hidrolik berbentuk pipa U seperti pada Gambar 7.2. apabila dikerjakan tekanan p_1 pada penampang A_1 maka tekanan yang sama besar akan diteruskan ke penampang A_2 sehingga memenuhi $p_1 = p_2$ dan diperoleh perumusan sebagai berikut:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{atau} \quad F_1 = \frac{A_1}{A_2} \times F_2 \quad \text{atau} \quad F_1 = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \times F_2 \quad (7.4)$$

dengan D_1, D_2 adalah diameter penampang 1 dan 2.



Gambar 7.2 Sistem hidrolis

Alat-alat teknik yang menggunakan sistem prinsip Pascal adalah rem hidrolis, pengangkat mobil dalam bengkel, kursi duduk (yang pakai per) tukang cukur, dan lain-lain.

Contoh soal 7.2

Seorang pekerja bengkel memberikan gaya tekan pada pompa hidrolis dengan gaya 200 N. apabila perbandingan penampang silinder kecil dan besar 1:10, berapa berat beban yang dapat diangkat oleh pekerja tersebut.

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (7.4) diperoleh:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} \times F_1 = \frac{10}{1} \times 200 \text{ N} = 2000 \text{ N}$$

Kegiatan 2. Menerapkan Hukum Pascal

1. Amati pompa hidrolis sebarang di bengkel pencucian mobil.
2. Tentukan perbandingan penampang kecil dongkrak dan penampang pengangkat beban.
3. Tempatkan sebuah mobil pada penampang pengangkat beban.
4. Catat berat mobil yang tertera di bodi mobil.
5. Hitung berapa besar beban yang harus diberikan agar mobil dapat terangkat.

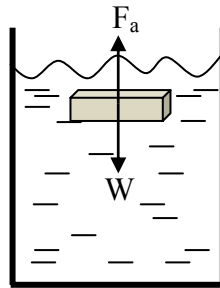
Tugas 2.

Jika diperoleh perbandingan radius penampang kecil dan besar dari sebuah pompa hidrolis 1:20, berapa besar gaya yang harus diberikan pada penampang kecil pompa agar dapat mengikat beban sebesar 3000 N?

7.1.5. Hukum Archimedes

Prinsip Archimedes

Di dalam fluida yang diam, suatu benda yang dicelupkan sebagian atau seluruh volumenya, akan mengalami gaya tekan ke atas (gaya apung) sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut, yang disebut *gaya Archimedes*. Tinjau elemen fluida yang dibatasi oleh permukaan s (Gambar 7.3).



Gambar 7.3 Elemen fluida yang dibatasi permukaan s .

Pada elemen ini bekerja gaya-gaya:

- gaya berat, W
- gaya-gaya oleh bagian fluida yang bersifat menekan permukaan s , yaitu gaya F_a .

Kedua gaya tersebut saling meniadakan, karena elemen berada dalam keadaan setimbang, maka gaya ke atas = gaya ke bawah. Artinya resultan seluruh gaya pada permukaan s berarah ke atas dan besarnya sama dengan berat elemen fluida dan titik tangkapnya adalah pada titik berat elemen. Dalam **prinsip Archimedes** dinyatakan bahwa suatu benda yang seluruhnya atau sebagian tercelup dalam satu fluida maka benda tersebut akan mendapat gaya apung ke atas sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut.

Secara matematis hukum Archimedes diformulasikan:

$$F_a = \rho_f V_{bf} g \quad (7.5)$$

dengan V_{bf} : volume benda yang tercelup dalam fluida, m^3 .

ρ_f : massa jenis fluida, kg/m^3
 g : percepatan gravitasi, m/s^2

Perhatikan:

- Hukum Archimedes berlaku untuk semua fluida termasuk gas dan zat cair.
- Jika benda tercelup semua maka $V_{bf} =$ volume benda.

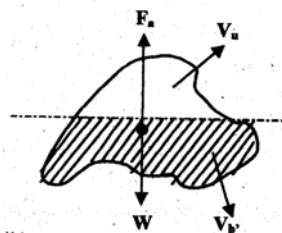
Benda yang dimasukkan ke dalam zat cair, akan terjadi tiga kemungkinan keadaan, yaitu *terapung*, *melayang* dan *tenggelam*. Ketiga kemungkinan keadaan tersebut terjadi ditentukan oleh perbandingan massa jenis benda dengan massa jenis fluida. Apabila massa jenis benda lebih kecil dari massa jenis fluida ($\rho < \rho_f$) maka benda terapung. Benda berada dalam keadaan melayang apabila massa jenis benda sama dengan massa jenis fluida ($\rho = \rho_f$) dan benda dalam keadaan tenggelam apabila massa jenis benda lebih besar dari massa jenis fluida $\rho_{b,rata-rata} > \rho_f$

Contoh soal 7.3

Sepotong kayu berada di tengah lautan, berapa prosentase bagian kayu yang terlihat di udara apabila diketahui massa jenis kayu $0,92 \text{ gr/cm}^3$ dan massa jenis air laut $1,03 \text{ gr/cm}^3$.

Penyelesaian:

Berat kayu adalah



$$W = \rho_{kayu} \cdot V \cdot g$$

Gaya apung (F_a) = berat air laut yang dipindahkan

$$= \rho_{air \text{ laut}} \cdot V_b \cdot g$$

karena kesetimbangan maka volume kayu yang terlihat di udara adalah:

$$V_u = V_b - V_{bf} \text{ dengan } V_{bf} = \frac{\rho_b}{\rho_f} V_b = 0,89 V_b$$

Jadi bagian kayu yang muncul di udara sebesar 11%

Kegiatan 3. Penerapan Hukum Archimedes

1. Ambil balok kayu kering dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm yang dapat Anda peroleh di sekitar Anda.
2. Tentukan massa jenis kayu tersebut, dengan terlebih dulu menimbang massa balok.
3. Masukkan balok kayu ke dalam ember yang berisi air.
4. Amati apakah balok kayu tengelam, melayang atau mengapung?
5. Bila mengapung berapa persen bagian balok kayu yang tercelup air?
6. Catat perubahan volume air dalam ember setelah kayu dimasukkan.
7. Hitung berat beda volume air dengan terlebih dulu menghitung massa beda volume air.
8. Berapa besar gaya apung oleh air terhadap kayu tersebut?
9. Gunakann massa jenis air 1 gr/cm³.

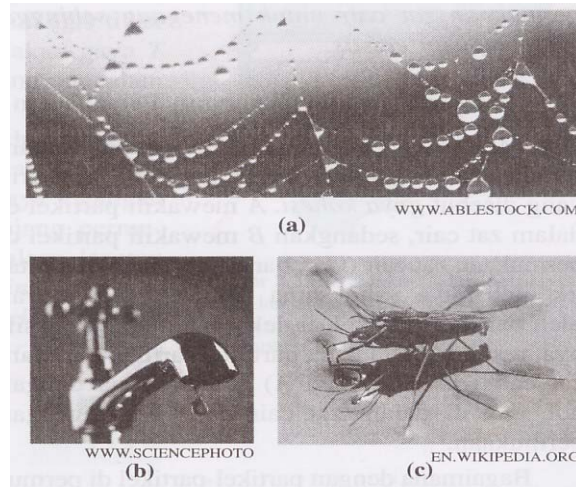
Tugas 3.

Hitung prosentase volume gabus yang berukuran 40 cm³ dan massa 10 gr ketika dimasukkan ke dalam air? Berapa gaya apung yang diberikan air kepada gabus?

7.2. TEGANGAN PERMUKAAN DAN VISKOSITAS ZAT CAIR

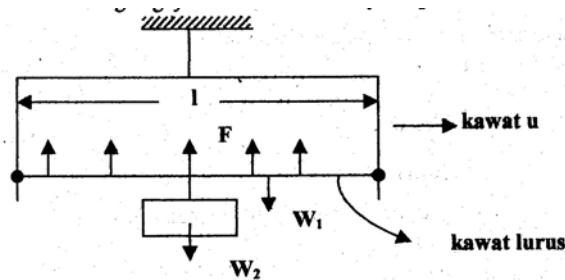
7.2.1. Tegangan Permukaan Zat Cair dan Kapilaritas.

Sering terlihat peristiwa-peristiwa alam yang tidak diperhatikan dengan teliti misalnya tetes-tetes zat cair pada pipa kran yang bukan sebagai suatu aliran, mainan gelembung-gelembung sabun, gelembung-gelembung air pada sarang laba-laba (Gambar 7.4), pisau silet yang diletakkan perlahan-lahan diatas permukaan air yang terapung, naiknya air pada pipa kapiler. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya gaya-gaya yang bekerja pada permukaan zat cair atau pada batas antara zat cair dengan benda lain. Fenomena itu dikenal dengan *tegangan permukaan*.



Gambar 7.4. Contoh tegangan permukaan [Marten Kangean, Erlangga]

Pengamatan terhadap tegangan permukaan bisa dilakukan seperti pada Gambar 7.5. Kawat yang berbentuk U dan sepotong kawat lurus lain dipasang dapat bergerak bebas pada kaki kawat. Bila kawat tersebut dicelupkan pada larutan sabun, maka kawat lurus akan tertarik ke atas. Untuk membuat ia setimbang maka harus diberi gaya W_2 sehingga dalam keadaan keseimbangan gaya tarik ke atas $F = W_1 + W_2$.



Gambar 7.5. Kawat berat W_1 diberi beban W_2 pada sistem tegangan permukaan oleh lapisan larutan sabun

Bila panjang kawat lurus adalah L , dan karena selaput air sabun mempunyai dua permukaan, maka panjang total kontak dari permukaan selaput air sabun dengan kawat adalah $2L$. Dari sini didefinisikan

tegangan permukaan γ adalah hasil bagi gaya permukaan terhadap panjang permukaan dan secara matematis diformulasikan:

$$\gamma = \frac{F}{2L} \quad (7.6)$$

Satuan tegangan permukaan dinyatakan dalam dyne/cm (CGS) atau Newton/meter (MKS).

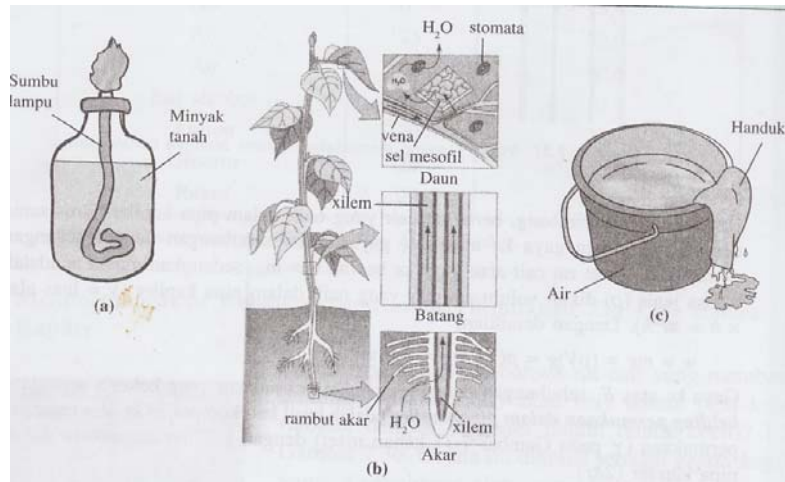
Tabel 7.1. Tegangan permukaan beberapa zat cair

Zat cair yang kontak dengan udara	Temperatur (°C)	Tegangan permukaan ($\cdot 10^{-3}$ N/m)
Air	0	75,6
Air	25	72,0
Air	80	62,6
Aseton	20	23,7
Etil alkohol	20	22,8
Gliserin	20	63,4
Air raksa	20	435

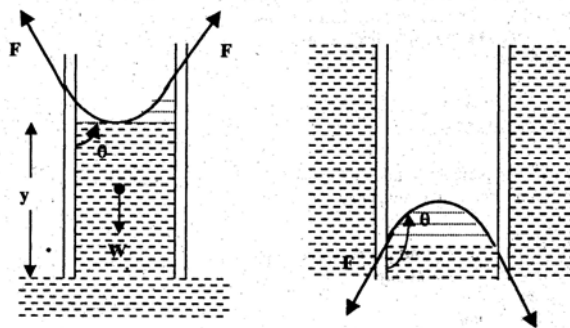
Fenomena fisis yang sering ditemui dengan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya tegangan permukaan adalah *gejala kapilaritas*. Kapilaritas adalah gejala fisis berupa naik/turunnya zat cair dalam media kapiler (saluran dengan ukuran diameter kecil) seperti Gambar 7.6. Besaran lain yang menentukan naik turunnya zat cair pada dinding suatu pipa kapiler selain tegangan permukaan, disebut *sudut kontak* (θ), yaitu sudut yang dibentuk oleh permukaan zat cair yang dekat dinding dengan dinding, lihat Gambar 7.7. Sudut kontak timbul akibat gaya tarik menarik antara zat yang sama (gaya kohesi) dan gaya tarik menarik antara molekul zat yang berbeda (adhesi).

Harga sudut kontak dalam rentang dari 0° sampai 180° dan dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu:

- Bagian pertama bila $0 < \theta < 90^{\circ}$ maka zat cair dikatakan membasahi dinding.
- Bila $90^{\circ} < \theta < 180^{\circ}$ zat cair dikatakan tak membasahi dinding.



Gambar 7.6. Fenomena kapilaritas [www.science.com]



Gambar 7.7 Sudut kontak pada pipa kapiler

Jika tabung berjari-jari R maka zat cair akan bersentuhan dengan tabung sepanjang $2 \pi R$. Jika dipandang zat cair dalam silinder kapiler dengan tinggi y , jari-jari R dan tegangan permukaan cair uap dari zat cair γ_{cu} , maka gaya ke atas total adalah:

$$F = 2 \pi R \gamma_{cu} \cos \theta \quad (7.7)$$

Gaya ke bawah adalah gaya berat zat cair yang harganya:

$$W = \pi R^2 y \rho g \quad (7.8)$$

dengan ρ : rapat massa zat cair, kg/m^3
 g : percepatan gravitasi, m/s^2

Dari syarat kesetimbangan diperoleh:

$$\begin{aligned} W &= F \\ \pi R^2 y \rho g &= 2\pi R \gamma_{cu} \cos \theta \end{aligned} \quad (7.9)$$

atau
$$y = \frac{2\gamma_{cu} \cos \theta}{R \rho g}$$

dari persamaan (7.9) terlihat bahwa harga-harga γ_{cu} , R , ρ dan g selalu berharga positif. Sedangkan $\cos \theta$ bisa menghasilkan harga positif maupun negatif. Untuk $0 < \theta < 90$, maka harga $\cos \theta$ positif, sehingga diperoleh y yang positif. Zat cair yang demikian dikatakan *membasahi dinding*. Contohnya air dalam pipa kapiler gelas. Untuk $90 < \theta < 180$, maka harga $\cos \theta$ negatif, sehingga diperoleh y yang negatif zat cair yang demikian dikatakan *tak membasahi dinding*. Contohnya air raksa dalam pipa kapiler gelas.

Contoh soal 7.4.

Seorang siswa memasukkan pipa kapiler yang jari-jarinya 1 mm ke dalam cair yang massa jenisnya $0,8 \text{ gr/cm}^3$. Ternyata sudut kontaknya 60° dan cairan naik setinggi 40 mm dari permukaan cairan di luar kapiler. Apabila percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 berapa besar tegangan permukaan zat cair tersebut.

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan 7.9 tegangan permukaan dapat dihitung:

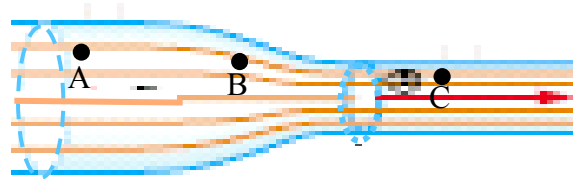
$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{R \cdot g \cdot \rho \cdot y}{2 \cos \theta} \\ &= \frac{10^{-3} \text{ m} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 800 \text{ kg/m}^3 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot \cos 60^\circ} \\ &= 32 \cdot 10^{-2} \text{ N/m} \end{aligned}$$

7.3. DINAMIKA FLUIDA

7.3.1. Aliran Fluida

Dinamika fluida adalah cabang ilmu yang mempelajari fluida dalam keadaan bergerak. Dalam dinamika fluida dibedakan *dua macam aliran*, yaitu aliran fluida yang relatif sederhana yang disebut *aliran laminar* dan aliran yang kompleks yang disebut sebagai *aliran turbulen*.

Gambar 7.8 melukiskan suatu bagian pipa dengan fluida mengalir dari kiri ke kanan. Jika aliran dari type laminar maka setiap partikel yang lewat titik A selalu melewati titik B dan titik C garis yang menghubungkan ketiga titik tersebut disebut garis arus atau *streamline*. Bila luas penampang pipa berlainan maka besarnya kecepatan partikel pada setiap titik juga berlainan. Tetapi kecepatan partikel-partikel pada saat melewati titik A akan sama besarnya.



Gambar 7.8 Aliran sederhana

Bila fluida mempunyai viskositas (kekentalan) maka akan mempunyai aliran fluida yang kecepataannya besar pada bagian tengah pipa dari pada di dekat dinding pipa.

Untuk pembahasan di sini, pertama dianggap fluida tidak kental sehingga kecepatan pada semua titik pipa penampang melintang yang juga sama besar.

7.3.2. Persamaan Kontinuitas

Pada Gambar 7.9 dilukiskan suatu aliran fluida dalam pipa yang mempunyai penampang berbeda. Jika A_1 adalah luas penampang pada titik 1, dan v_1 kecepataannya, maka dalam t detik, partikel yang berada pada titik 1 akan berpindah sejauh $(v_1 \cdot t)$ dan volume fluida yang lewat penampang A_1 adalah $(A_1 v_1 \cdot t)$. Volume fluida yang lewat penampang A_1 persatuan waktu adalah $A_1 v_1$ demikian pula volume fluida yang lewat penampang A_2 per satuan waktu adalah $A_2 v_2$.

Jika fluida bersifat tak kompresibel, maka besarnya volume fluida yang lewat penampang A_1 dan A_2 persatuan waktu adalah sama besar sehingga diperoleh:

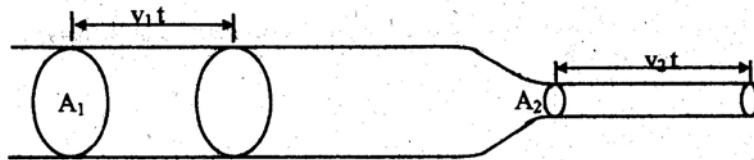
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (7.13)$$

Atau $v_1 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 v_2$ dengan D_1 dan D_2 adalah diameter pipa 1 dan 2.

Atau $Q = A v = \text{konstan}$

Besaran Av dinamakan debit (Q) yang mempunyai satuan m^3/dt (MKS) atau cm^3/dt (CGS). Persamaan (7.13) dikenal sebagai *persamaan kontinuitas* untuk aliran yang mantap dan tak kompresibel.

Konsekuensi dari hubungan di atas adalah kecepatan akan membesar jika luas penampang mengecil demikian juga sebaliknya. Perhatikan Gambar 7.10, di mana seorang menyiram tanaman dengan selang semprot bila menginginkan kecepatan aliran air keluar dari selang maka harus dilakukan memperkecil penampang selang.



Gambar 7.9 Aliran fluida pada pipa dengan penampang yang berbeda



Gambar 7.10. Untuk mempercepat aliran air semprotan perlu memperkecil penampang selang [www.ablestock.com]

Contoh soal 7.5

Pipa berdiameter 0,2 m terhubung dengan pipa yang berdiameter 0,1 m. Jika kecepatan aliran fluida yang melewati pipa berdiameter 0,2 m sebesar 10 m/s, hitung kecepatan aliran fluida ketika melewati pipa yang berdiameter 0,1 m dan berapa besar debit fluida yang lewat pipa tersebut?

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan 7.13 diperoleh:

$$v_2 = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 v_1 = \left(\frac{0,2}{0,1} \right)^2 10 = 20 \text{ m/s}$$

$$\text{debit } Q = A_1 v_1 = \pi D_1^2 v_1 = \pi \cdot 0,2^2 \cdot 10 = 0,4\pi \text{ m}^3/\text{s}.$$

Kegiatan 5. Menghitung debit

1. Ambil sebuah selang plastik.
2. Salah satu ujung selang disambungkan dengan sebuah kran dengan penampang lubang berdiameter 1 cm².
3. Buka kran/alirkan air.
4. Air yang keluar dari ujung selang gunakan untuk mengisi sebuah tempat air yang bervolume (30 x 30 x 30) cm³.

5. Catat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi tempat air tersebut hingga penuh.
6. Tentukan debit air yang melewati selang tersebut.
7. Hitung kecepatan aliran air yang melewati selang tersebut.

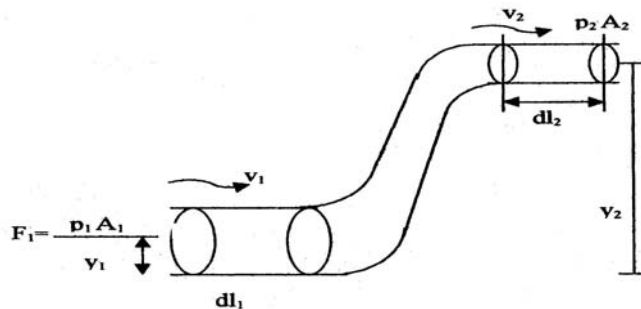
Tugas 5.

Hitung debit dan kecepatan aliran air pada kran yang dipakai untuk mengisi bak mandi di rumah Anda.

7.3..3. Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan persamaan dasar dari dinamika fluida di mana berhubungan dengan tekanan (p), kecepatan aliran (v) dan ketinggian (h), dari suatu pipa yang fluidanya bersifat tak kompresibel dan tak kental, yang mengalir dengan aliran yang turbulen. Tinjau aliran fluida pada pipa dengan ketinggian yang berbeda seperti gambar 7.11.

Bagian sebelah kiri pipa mempunyai luas penampang A_1 dan sebelah kanan pipa mempunyai luas penampang A_2 . Fluida mengalir disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terjadi padanya. Pada bagian kiri fluida terdorong sepanjang dl_1 akibat adanya gaya $F_1 = A_1 \cdot p_1$ sedangkan pada bagian kanan dalam selang waktu yang sama akan berpindah sepanjang dl_2 .



Gambar 7.11 Aliran fluida pada pipa dengan ketinggian yang berbeda

Pengayaan:

Usaha yang dilakukan oleh gaya F_1 adalah $dW_1 = A_1 \cdot p_1 \cdot dl_1$ sedang pada bagian kanan usahanya $dW_2 = -A_2 \cdot p_2 \cdot dl_2$

$$dW_1 + dW_2 = A_1 p_1 dl_1 - A_2 p_2 dl_2$$

Sehingga usaha totalnya

$$W_1 + W_2 = A_1 \cdot p_1 \cdot l_1 - A_2 \cdot p_2 \cdot l_2$$

Bila massa fluida yang berpindah adalah m dan rapat massa fluida adalah ρ , maka diperoleh persamaan:

$$W = (p_1 - p_2) \frac{m}{\rho} \quad (7.14)$$

Persamaan diatas merupakan usaha total yang dilakukan oleh fluida. Bila fluida bersifat tak kental, maka tak ada gaya gesek sehingga kerja total tersebut merupakan perubahan energi mekanik total pada fluida yang bermassa m .

Besarnya tambahan energi mekanik total adalah:

$$E = \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) + (mg h_2 - mg h_1) \quad (7.15)$$

Maka

$$(p_1 - p_2) \frac{m}{\rho} = \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) + (mg h_2 - mg h_1)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (7.16)$$

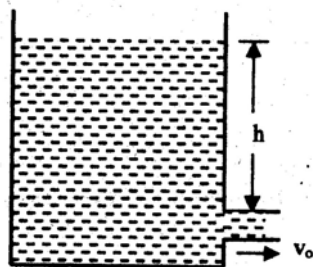
Sehingga dapat disimpulkan:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstan} \quad (7.17)$$

Persamaan (7.17) dikenal sebagai *persamaan Bernoulli*.

Contoh soal 7.6

Sebuah tangki besar diberi lubang kecil pada kedalaman h dan diisi air.



- a. Jika kecepatan air turun pada permukaan adalah v , tunjukkan dari persamaan Bernoulli bahwa:

$$v_0^2 = v^2 + 2gh, \quad \text{dengan } v_0 =$$

kecepatan aliran air pada lubang kecil.

Tekanan udara luar pada permukaan penampang tangki sama dengan tekanan udara luar di penampang lubang.

- b. Jika A luas permukaan tangki dan A_o luas permukaan lubang, tunjukkan bahwa:

$$V_o = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_o}{A}\right)^2}}$$

Penyelesaian:

a. $p_o + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = p_o + \frac{1}{2}\rho v_o^2$

$$v_o^2 = v^2 + 2gh$$

- b. Dari persamaan kontinuitas

$$Av = A_o v_o \rightarrow v_o = \frac{A}{A_o} v$$

$$v_o = \frac{A}{A_o} (v_o^2 - 2gh)^{\frac{1}{2}}$$

$$v_o = \left[\frac{2gh}{1 - \frac{A_o^2}{A^2}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

7.3.4. Pemakaian Persamaan Bernoulli

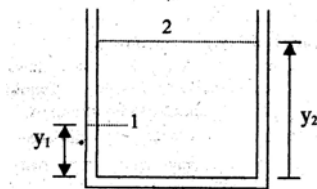
1. Hidrostatika

Persamaan dalam statika fluida merupakan hal khusus dari persamaan Bernoulli, di mana kecepatannya sama dengan nol.

Karena fluida diam, $v_1 = v_2 = 0$

Sehingga dari persamaan Bernoulli diperoleh hasil

$$p_1 + \rho g y_1 = p_2 + \rho g y_2$$



Gambar 7.12 Fluida statis dalam wadah

Titik (2) diambil pada permukaan fluida oleh sebab itu besarnya tekanan sama dengan besarnya tekanan udara luar, yaitu P_o , sehingga:

$$p_1 + \rho g y_1 = p_o + \rho g y_2$$

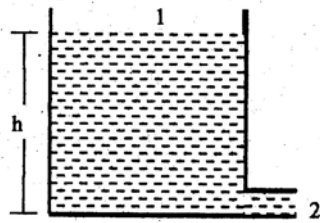
$$p_1 = p_o + \rho g (y_2 - y_1)$$

$$p_2 = p_o + \rho g h$$

Dengan p_1 adalah tekanan hidrostatik titik 1.

2. Teorema Torricelli

Teorema ini membahas tentang besarnya kecepatan aliran pada lubang kecil yang berada pada dinding bagian bawah suatu silinder yang berisi fluida.



Titik (1) dan (2) terletak pada permukaan atas dan bawah zat cair sehingga besarnya tekanan adalah sama dan ketinggian titik (2) adalah nol.

Gambar 7.13 Air dalam wadah yang dasarnya ada lubang.

Sehingga persamaan Bernoulli menjadi:

$$p_o + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_o + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Jika perbandingan luas penampang pada titik (1) jauh lebih besar dengan titik (2), maka kecepatan v_1 mempunyai harga yang relatif jauh lebih kecil dari v_2 sehingga dari persamaan di atas v_1 bisa diabaikan dan diperoleh:

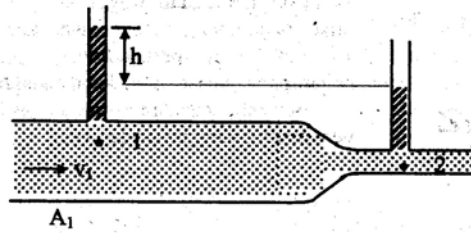
$$p_o + \rho g h = p_o + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$V_2 = \sqrt{2 g h} \quad (7.18)$$

Dengan v_2 : kecepatan air saat keluar dari lubang.

3. Alat Ukur Venturi

Alat ini dipergunakan untuk mengukur besarnya kecepatan aliran fluida dalam suatu pipa.



Ambil titik (1) dan (2) yang mempunyai ketinggian yang sama, sehingga dari persamaan Bernoulli diperoleh hasil:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$(p_1 - p_2) + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\rho g h + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Gambar 7.14 Alat ukur Venturi.

Hubungan antara v_1 dan v_2 dapat diperoleh dari persamaan Kontinuitas. Bila luas penampang pada titik (1) adalah A_1 dan pada titik (2) adalah A_2 maka:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \text{ dan } v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

Bila dimasukkan dalam persamaan Bernoulli diperoleh:

$$g h + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{A_1 v_1}{A_2} \right)^2$$

$$2 g h + v_1^2 = \left(\frac{A_1 v_1}{A_2} \right)^2$$

$$2 g h = \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] v_1^2$$

$$v_1^2 = \frac{2 g h}{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}$$

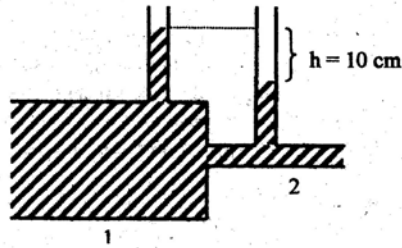
$$v_1 = \frac{\sqrt{2 g h}}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} \quad (7.19)$$

Dengan persamaan kontinuitas diperoleh:

$$v_1 = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2}} \quad (7.20)$$

Contoh soal 7.7

Sebuah alat venturi meter digunakan seorang siswa untuk mengukur kecepatan aliran air dalam pipa.



Ternyata perbedaan tinggi air pada pipa penampang besar dan kecil 10 cm. Jika perbandingan luas penampang besar dan kecil adalah 3:1. Berapa kecepatan aliran air pada penampang yang besar dan kecil.

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (7.20):

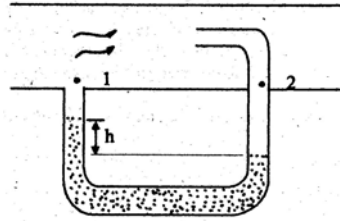
$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \\ &= \frac{\sqrt{2 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,1 \text{ m}}}{\sqrt{\left(\frac{3}{1}\right)^2 - 1}} = \frac{1}{2} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dan persamaan kontinuitas:

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot v_1 = \frac{3}{1} \times \frac{1}{2} \text{ m/s} = \frac{3}{2} \text{ m/s}$$

4. Tabung Pitot

Alat ini dipergunakan untuk mengukur kecepatan angin atau aliran gas.



Misalkan gas mengalir dengan kecepatan v dan rapat massa gas adalah ρ , maka pada titik (1) dan (2) persamaan Bernoulli dapat dituliskan:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2$$

Gambar 7.15 Tabung Pitot

Pada titik (1) kecepatan alirannya sama dengan kecepatan aliran gas sedangkan titik (2) kecepatannya nol. Padahal bila dilihat dari hubungan statika fluida $p_2 = p_1 + \rho_o g h$, dimana ρ_o adalah rapat massa zat cair, dan h adalah beda ketinggian permukaan, maka diperoleh:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_1 + \rho_o g h$$

$$v_1^2 = \frac{2\rho_o g h}{\rho} \quad (7.21)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_o g h}{\rho}}$$

5. Gaya Angkat Pesawat Terbang

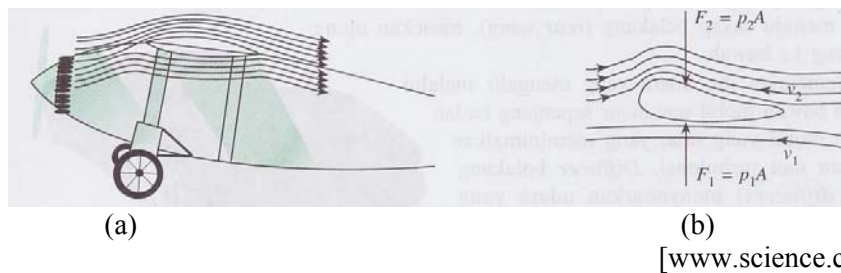
Jika Anda perhatikan seekor burung yang sedang terbang, di mana ketika melayang terlihat begitu indahnyanya kedua sayapnya (Gambar 7.16), bagaimana hal itu bisa dilakukan dengan mudahnya oleh burung tersebut? Hal yang sama terjadi pada sebuah pesawat terbang yang sedang mengudara, bagaimana pesawat terbang (gambar 7.17) yang mempunyai gaya berat yang cukup besar dapat terbang dengan baik?

Pesawat terbang memiliki bentuk sayap mirip sayap burung, yaitu melengkung dan tebal di bagian depan daripada bagian di belakangnya (7.19a). Bentuk sayap seperti ini disebut aerofil. Tidak seperti sayap burung yang dapat dikepak-kepakkan, karena itu udara harus dipertahankan mengalir melalui kedua sayap pesawat terbang. Ini

dilakukan oleh mesin pesawat yang menggerakkan maju pesawat menyongsong udara.



Gambar 7.16. Burung terbang



Gambar 7.17. (a). garis aliran udara di sekitar sayap
(b). garis aliran udara di atas lebih cepat di banding yang di bawah sayap sehingga gaya angkat lebih besar

Garis arus di atas sayap lebih rapat sehingga kelajuan aliran udara (v_2) menjadi besar dibanding di bagian bawah sayap (v_1). Sesuai hukum Bernoulli tekanan di sisi bagian atas sayap (p_2) lebih kecil daripada di sisi bagian bawah sayap (p_1). Beda tekanan $p_1 - p_2$ menghasilkan gaya angkat sebesar:

$$F_1 - F_2 = (p_1 - p_2)A \quad (7.22)$$

substitusikan ke persamaan Bernoulli, diperoleh gaya angkat pesawat:

$$F_1 - F_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) A \quad (7.23)$$

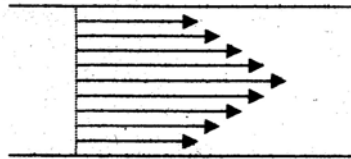
Dengan A : luas penampang total sayap dan ρ : massa jenis udara.

Sehingga $F_1 - F_2$ harus lebih besar berat pesawat agar dapat terbang, harus sama dengan berat pesawat ketika melayang di udara dan lebih kecil dari berat pesawat ketika turun.

7.5. Aliran Viscous (aliran kental)

Dalam pembahasan persamaan Bernoulli di depan, permasalahan masih bersifat sederhana, yaitu dengan mengaggap bahwa zat cair bersifat tak kental (non viscous). Sekarang kita membahas bagaimana bila zat cairnya kental atau kekentalan zat cair tidak diabaikan.

Pandang aliran dalam suatu pipa Gambar 7.18. Garis alir dianggap sejajar dengan dinding pipa. Akibat adanya kekentalan zat cair dalam pipa, maka besarnya kecepatan gerak partikel pada penampang melintang tidaklah sama. Hal ini disebabkan adanya gesekan antar molekul pada cairan kental. Pada titik pusat pipa kecepatannya maksimum.



Gambar 7.18 Aliran kental

Akibat lain adalah kecepatan rata-rata partikel lebih kecil daripada kecepatan rata-rata partikel bila zat cairnya bersifat tak kental. Hal ini disebabkan oleh adanya gesekan yang lebih besar pada zat cair yang kental. Jika zat cairnya kental dan alirannya tidak terlalu cepat, maka aliran zat cair akan bersifat laminar dan jika kecepatan zat cair melebihi suatu harga tertentu, aliran yang terjadi menjadi lebih kompleks. Pada aliran terjadi pusaran-pusaran yang disebut vortex. Aliran seperti ini disebut aliran turbulen.

Dari eksperimen didapatkan bahwa ada 4 buah faktor yang menentukan apakah aliran bersifat laminar atau turbulen.

Hubungan dari keempat faktor tersebut disebut bilangan Reynold dan dinyatakan sebagai:

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta} \quad (7.24)$$

dengan

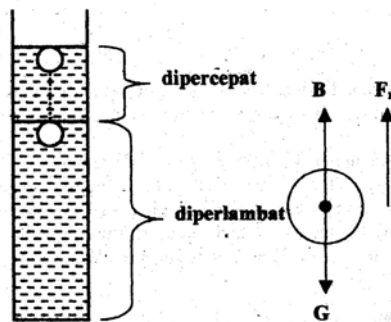
- ρ : rapat massa zat cair, kg/m^3
 v : kecepatan rata-rata aliran, m/s
 η : koefisien kekentalan
 D : diameter pipa, m
 N_R : bilangan Reynold

Dari hasil pengamatan bila bilangan Reynold antara 0 sampai 2000, maka alirannya bersifat laminar, sedangkan di atas 3000 alirannya bersifat turbulen dan di antara 2000 sampai 3000 terjadi suatu transisi, aliran dapat berubah dari laminar turbulen atau sebaliknya.

Untuk menghitung koefisien kekentalan digunakan cara, antara lain *cara Stokes*.

Sebuah tabung diisi cairan yang diukur η nya. Sebuah bola kecil dilepaskan tepat pada permukaan cairan ($v_0 = 0$).

Bola kecil yang dipakai sudah diketahui massa jenisnya (ρ bola), juga ρ cairan sudah diketahui.



Gerakan bola mula-mula dipercepat sampai pada suatu tempat gerakannya menjadi beraturan. Gerakan bola ini mengalami gaya gesekan F_r dan gaya apung ke atas (B).

Mula-mula $\Sigma F_y = m a$, kemudian $\Sigma F_y = 0$ (setelah v nya tetap) dan berlaku resultan gaya: $G - B - F_r = 0$.

Pada saat v sudah tetap besarnya, gaya gesekan yang tergantung pada v , menurut dalil Stokes adalah:

$$F_t = 6\pi\eta r v,$$

di mana r adalah jari-jari bola kecil.

$$G = m g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{bola} \cdot g$$

$$B = m_{cairan} \cdot g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{cairan} \cdot g$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_{bola} - \rho_{cairan}) = 6\pi \eta r v$$

sehingga

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_{bola} - \rho_{cairan})}{9\nu} \quad (7.25)$$

RANGKUMAN

1. *Tekanan* adalah besaran fisika yang merupakan perbandingan antara gaya normal (tegak lurus) yang bekerja pada suatu bidang permukaan dengan luas bidang permukaan tersebut.

Rumus tekanan:

$$P = \frac{F}{A}$$

dengan F : gaya, newton dan A : luas bidang permukaan, m^2 .

Satuan tekanan dalam SI adalah *Pascal (Pa) atau N/m^2* . 1

$$Pa = 1 N/m^2$$

Beberapa satuan tekanan yang lain yang sering digunakan dalam beberapa keperluan adalah *atmosfer (atm)*, *centimeter Hg (cmHg)* dan *milibar (mb)*, *torr*.

$$1 \text{ mb} = 10^5 \text{ Pa} ; 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,01 \text{ mb.}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

2. Tekanan hidrostatis dirumuskan: $p_h = \frac{F}{A} = \frac{\rho g h \cdot A}{A} = \rho g h$
3. Tekanan yang bekerja pada fluida statis dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah dengan sama rata, hal ini dikenal sebagai ***prinsip PASCAL***.
4. Di dalam fluida yang diam, suatu benda yang dicelupkan sebagian atau seluruh volumenya akan mengalami gaya tekan ke atas (gaya apung) sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut, yang lazim disebut ***gaya Archimedes***.
5. Tegangan permukaan adalah gaya per dimensi panjang.
6. Jika fluida bersifat tak kompresibel, maka besarnya volume fluida yang lewat penampang A_1 dan A_2 persatuan waktu adalah sama besar sehingga diperoleh:
 $A_1 v_1 = A_2 v_2$, disebut *persamaan kontinuitas*.
7. Pada aliran tunak pada system pipa yang mempunyai beda ketinggian berlaku hukum Bernoulli:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

SOAL KOMPETENSI

1. Sebuah wadah air berbentuk kotak dengan ukuran 30 cm x 40 cm x 80 cm (tinggi). Jika wadah diisi dengan air sampai penuh, tentukan:
 - (a). massa air dalam wadah tersebut jika massa jenis air 1000 kg/m³,
 - (b). berat air dalam wadah tersebut,
 - ©. Tekanan yang dikerjakan wadah tersebut yang berisi air pada lantai, jika diketahui massa wadah 75 gram.

2. (a). Hitung tekanan hidrostatik pada kedalaman 100 m di bawah permukaan air laut.
 (b). Hitung tekanan mutlak pada kedalaman tersebut (massa jenis relatif air laut 1,03 ; 1 atm = 1,01.10⁵ Pa; g = 10 m/s²).

3. Tiga jenis cairan yang tidak dapat tercampur dituangkan ke dalam sebuah wadah yang penampangnya berbentuk kubus dengan luas 100 cm². Jika diketahui volume dan massa jenis masing-masing cairan adalah 0,5 liter, 2,6 gr/cm³; 0,3 liter, 1 gr/cm³ dan 0,4 liter, 0,80 gr/cm³. Berapakah tekanan mutlak yang disebabkan oleh ketiga cairan tersebut pada alas wadah?

4. Sebutkan hukum utama hidrostatika dan prinsip Pascal dalam fluida statis, serta hukum Archimedes.

5. Sebuah dongkrak hidrolik yang mengandung minyak (massa jenis 800 kg/m³) memiliki luas silinder besar dan kecil 0,5 m² dan 10⁻⁴ m². Massa penghisap kecil m (kg) tidak diketahui. Jika massa tambahan 510 kg diletakkan di atas penghisap besar, dongkrak berada dalam keadaan kesetimbangan dengan penghisap kecil berada setinggi h = 120 cm di atas penghisap besar. Berapakah besar massa m?

6. Sebuah batu bata memiliki rongga di dalamnya, massanya di udara sebesar 264 gr dan di dalam air 220 gr. Jika massa jenis bata 4,8 gr/cm³, tentukan volume rongga bata tersebut.

7. Air naik sampai ketinggian 10 cm dalam suatu pipa kapiler tertentu, dalam pipa kapiler yang sama permukaan air raksa turun 3,5 cm. Tentukan perbandingan tegangan permukaan air dan air raksa. Massa jenis relatif air raksa 13,6; sudut kontak air 0° dan untuk air raksa 153° .
8. Seorang anak menyiram tanaman dengan menggunakan selang semprot, air mengalir dengan kelajuan 5 m/s melalui pipa penyemprot yang beradius 8 mm.
 - (a). Berapa diameter mulut pipa agar air menyemprot keluar dengan kecepatan 10 m/s?
 - (b). Berapakah banyaknya air yang keluar bila dilakukan penyemprotan selama 60 menit?
9. Air mengalir dari lantai 1 sebuah apartemen bertingkat melalui pipa berdiameter 280 mm. Air dialirkan ke kamar mandi di lantai 2 melalui kran berdiameter 0,800 cm dan terletak 600 cm di atas pipa lantai 1. Jika kelajuan air dalam pipa di lantai 1 adalah 0,150 m/s dan tekanan $1,8 \cdot 10^5$ Pa, tentukan:
 - (a). kelajuan air yang keluar dari kran,
 - (b). tekanan dalam pipa di lantai 2.
10. Tekanan di bagian pipa horisontal dengan diameter 2 cm adalah 142 kPa. Air mengalir lewat pipa dengan debit 3 liter/s, berapakah diameter di bagian pipa yang dipersempit agar tekanannya 121 kPa?

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.

Dosen-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

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, umumnya memiliki 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 ketidakpastian 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 gerakanya 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 vertical 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 yang bergerak.
- 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 sentrifugal 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 gravitasi.

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 kedudukannya.

Energi Kinetik: Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena kecepatannya.

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 berpotensi listrik rendah.

Medan Listrik: Besar Medan Listrik disuatu titik P didefinisikan sebagai besar gaya listrik per satuan muatan di titik P tersebut.

Resistor merupakan salah satu elemen listrik yang memiliki sifat mengubah 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 terhadap aliran muatan listrik di dalam suatu bahan atau materi.

Resistivitas merupakan sifat suatu bahan untuk memberikan hambatan terhadap laju aliran muatan listrik di dalam suatu bahan. Resistivitas merupakan sifat intrinsik 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 baterai 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 baterai. Artinya bila kedua ujung baterai dihubungkan dengan suatu resistor maka akan terdapat beda potensial pada kedua ujung resistor tersebut. Hal ini berarti baterai memberikan energi pada resistor yaitu untuk menggerakkan muatan listrik di dalam resistor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ISBN 978-602-8320-23-8
ISBN 978-602-8320-24-5

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp.18,106,00