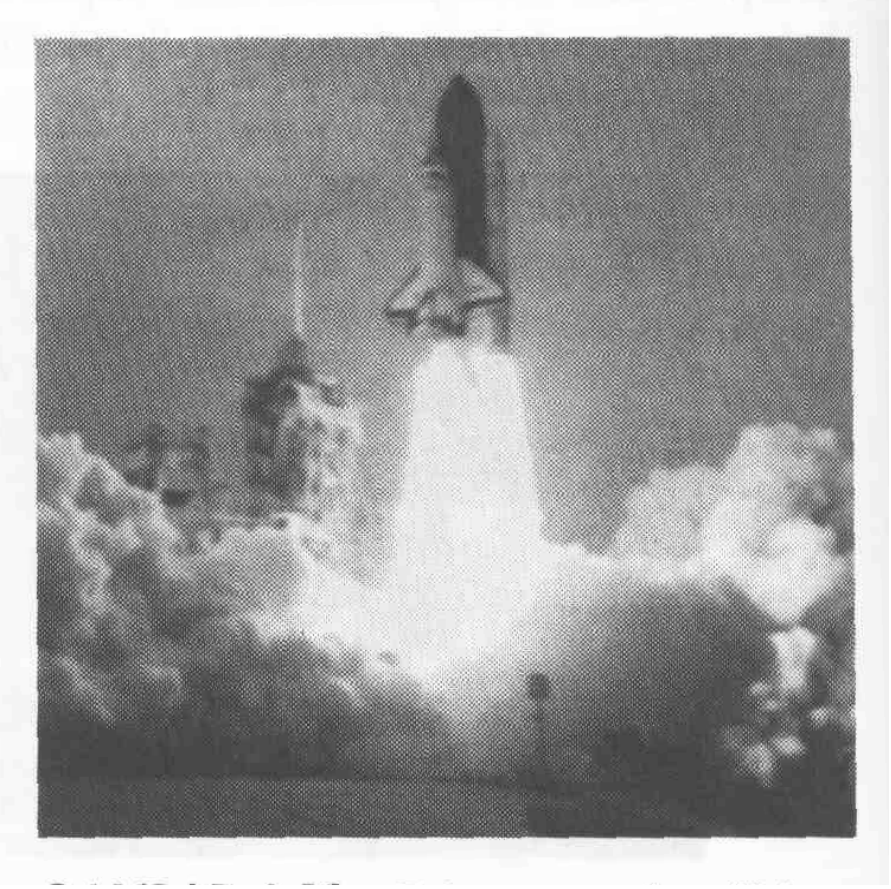
Kode FIS.04

Pengukuran Gaya dan Tekanan



BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2004

Kode FIS.04

Pengukuran Gaya dan Tekanan

Penyusun:
Drs. Madlazim, M.Pd.

Editor:
Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Drs. Munasir, M.Si.

BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENEGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2004

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya, kami dapat menyusun bahan ajar modul manual untuk SMK Bidang Adaptif, yakni mata-pelajaran Fisika, Kimia dan Matematika. Modul yang disusun ini menggunakan pendekatan pembelajaran berdasarkan kompetensi, sebagai konsekuensi logis dari Kurikulum SMK Edisi 2004 yang menggunakan pendekatan kompetensi *(CBT: Competency Based Training).*

Sumber dan bahan ajar pokok Kurikulum SMK Edisi 2004 adalah modul, baik modul manual maupun interaktif dengan mengacu pada Standar Kompetensi Nasional (SKN) atau standarisasi pada dunia kerja dan industri. Dengan modul ini, diharapkan digunakan sebagai sumber belajar pokok oleh peserta diklat untuk mencapai kompetensi kerja standar yang diharapkan dunia kerja dan industri.

Modul ini disusun melalui beberapa tahapan proses, yakni mulai dari penyiapan materi modul, penyusunan naskah secara tertulis, kemudian disetting dengan bantuan alat-alat komputer, serta divalidasi dan diujicobakan empirik secara terbatas. Validasi dilakukan dengan teknik telaah ahli (*expert-judgment*), sementara ujicoba empirik dilakukan pada beberapa peserta diklat SMK. Harapannya, modul yang telah disusun ini merupakan bahan dan sumber belajar yang berbobot untuk membekali peserta diklat kompetensi kerja yang diharapkan. Namun demikian, karena dinamika perubahan sain dan teknologi di industri begitu cepat terjadi, maka modul ini masih akan selalu dimintakan masukan untuk bahan perbaikan atau direvisi agar supaya selalu relevan dengan kondisi lapangan.

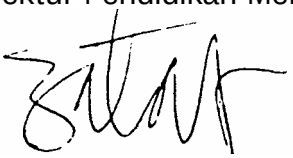
Pekerjaan berat ini dapat terselesaikan, tentu dengan banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang perlu diberikan penghargaan dan ucapan terima kasih. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini tidak

berlebihan bilamana disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pakar di bidang psikologi, praktisi dunia usaha dan industri, dan pakar akademik sebagai bahan untuk melakukan peningkatan kualitas modul. Diharapkan para pemakai berpegang pada azas keterlaksanaan, kesesuaian dan fleksibilitas, dengan mengacu pada perkembangan IPTEK pada dunia usaha dan industri dan potensi SMK dan dukungan dunia usaha industri dalam rangka membekali kompetensi yang terstandar pada peserta diklat.

Demikian, semoga modul ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya peserta diklat SMK Bidang Adaptif untuk mata-pelajaran Matematika, Fisika, Kimia, atau praktisi yang sedang mengembangkan modul pembelajaran untuk SMK.

Jakarta, Desember 2004
a.n. Direktur Jenderal Pendidikan
Dasar dan Menengah
Direktur Pendidikan Menengah Kejuruan,



Dr. Ir. Gatot Hari Priowirjanto, M.Sc.
NIP 130 675 814

DAFTAR ISI

- Halaman Sampul i
- Halaman Francis ii
- Kata Pengantar iii
- Daftar Isi v
- Peta Kedudukan Modul vii
- Daftar Judul Modul viii
- Glosary ix

I. PENDAHULUAN

a. Deskripsi 1
b. Prasarat 1
c. Petunjuk Penggunaan Modul 2
d. Tujuan Akhir 2
e. Kompetensi 4
f. Cek Kemampuan 6

II. PEMELAJARAN

A. Rencana Belajar Peserta Diklat 9

B. Kegiatan Belajar

1. Kegiatan Belajar *10*
a. Tujuan Kegiatan Pemelajaran 10
b. Uraian Materi 10
c. Rangkuman 44
d. Tugas 45
e. Tes Formatif 47
f. Kunci Jawaban 50
g. Lembar Kerja 51

2 Kegiatan Belajar *53*
a. Tujuan Kegiatan Pemelajaran 53
b. Uraian Materi 53
c. Rangkuman 65
d. Tugas 66
e. Tes Formatif 67
f. Kunci Jawaban 68
g. Lembar Kerja 69

III. EVALUASI

A. Tes Tertulis 70
B. Tes Praktik 72

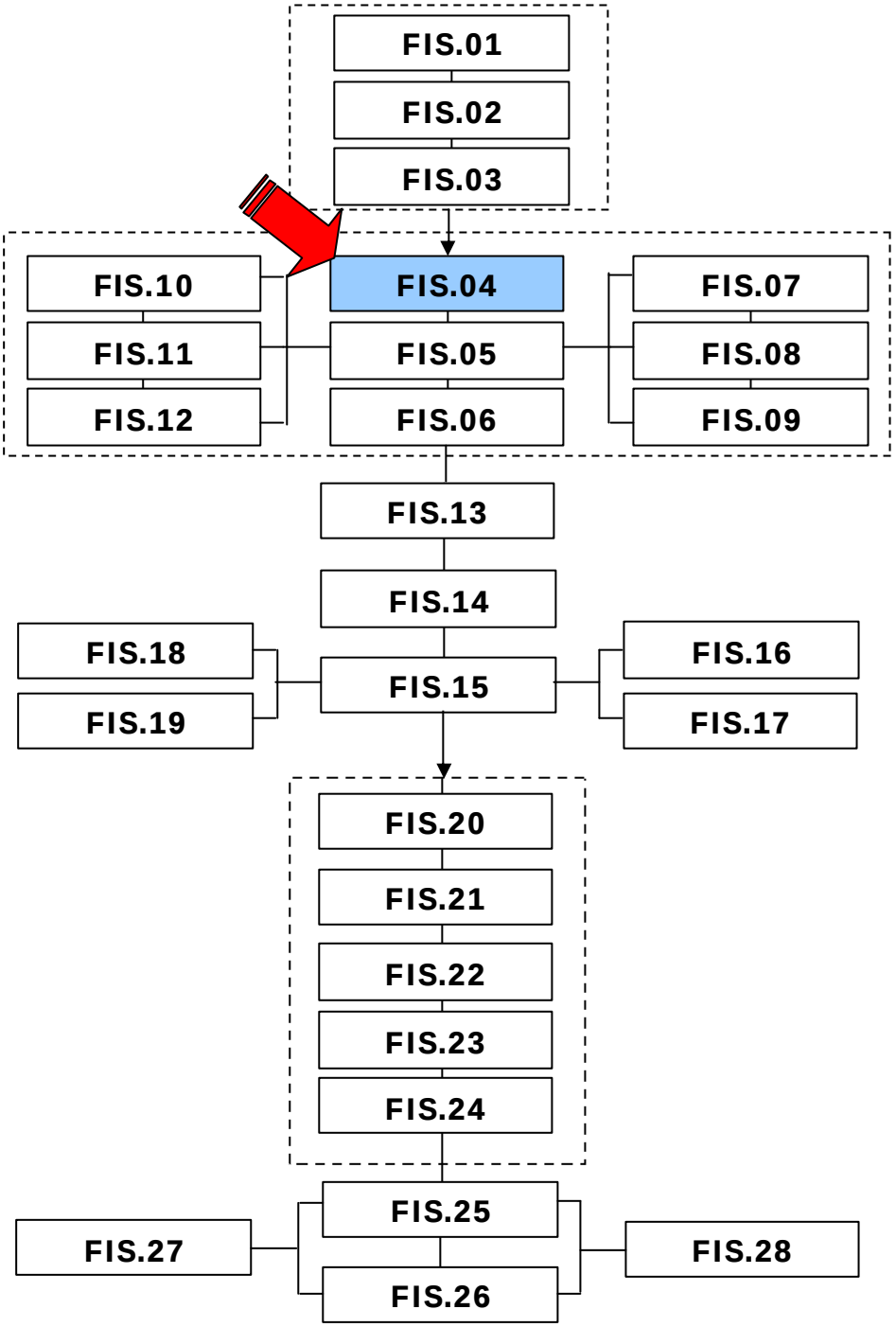
KUNCI JAWABAN

A. Tes Tertulis 73
B. Lembar Penilaian Tes Praktik 74

IV. PENUTUP 77

DAFTAR PUSTAKA 78

Peta Kedudukan Modul



DAFTAR JUDUL MODUL

No.	Kode Modul	Judul Modul
1	FIS.01	Sistem Satuan dan Pengukuran
2	FIS.02	Pembacaan Masalah Mekanik
3	FIS.03	Pembacaan Besaran Listrik
4	FIS.04	Pengukuran Gaya dan Tekanan
5	FIS.05	Gerak Lurus
6	FIS.06	Gerak Melingkar
7	FIS.07	Hukum Newton
8	FIS.08	Momentum dan Tumbukan
9	FIS.09	Usaha, Energi, dan Daya
10	FIS.10	Energi Kinetik dan Energi Potensial
11	FIS.11	Sifat Mekanik Zat
12	FIS.12	Rotasi dan Kesetimbangan Benda Tegar
13	FIS.13	Fluida Statis
14	FIS.14	Fluida Dinamis
15	FIS.15	Getaran dan Gelombang
16	FIS.16	Suhu dan Kalor
17	FIS.17	Termodinamika
18	FIS.18	Lensa dan Cermin
19	FIS.19	Optik dan Aplikasinya
20	FIS.20	Listrik Statis
21	FIS.21	Listrik Dinamis
22	FIS.22	Arus Bolak-Balik
23	FIS.23	Transformator
24	FIS.24	Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik
25	FIS.25	Semikonduktor
26	FIS.26	Piranti semikonduktor (Dioda dan Transistor)
27	FIS.27	Radioaktif dan Sinar Katoda
28	FIS.28	Pengertian dan Cara Kerja Bahan

Glossary

ISTILAH	KETERANGAN
Gaya	Merupakan tarikan atau dorongan atau merupakan besaran vector.
Gaya total pada sebuah benda	Jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja pada sebuah benda.
Inersia	Kecendrungan benda untuk menolak perubahan gerak.
Massa	Ukuran inersia sebuah benda.
Berat	Mengacu gaya gravitasi pada sebuah benda yang merupakan hasil kali antara massa m dengan percepatan gravitasi g: $W = mg$.
Hukum Newton I (Hukum Inersia)	Jika gaya total pada sebuah benda nol, maka benda diam atau bergerak dengan kecepatan tetap.
Hukum Newton II	Percepatan benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. $\Sigma F = ma$
Hukum Newton III	Jika sebuah benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut selalu memberikan gaya ke benda pertama yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan. $F_{12} = -F_{21}$

BAB I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Gaya yang merupakan besaran vektor, yang dapat dianggap sebagai dorongan atau tarikan. Hukum Newton II gaya didefinisikan sebagai aksi yang bisa meninmbulkan percepatan. Gaya total pada sebuah benda adalah jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja pada benda tersebut. Kecendrungan benda untuk menolak perubahan gerak disebut inersia. Massa adalah ukuran inersia sebuah benda. Berat adalah gaya gravitasi sebuah benda dan merupakan hasil kali antara massa m dengan percepatan gravitasi g: $W = mg$.

Hukum Newton I (hukum inersia), yakni jika gaya total pada sebuah benda nol, maka benda akan diam atau bergerak dengan kecepatan tetap. Hukum Newton II, yakni percepatan benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya ($\Sigma F = ma$). Hukum Newton III, yakni jika sebuah benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut selalu memberikan gaya ke benda pertama yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan ($F_{12} = -F_{21}$). Metode pengukuran gaya yang didasarkan pada perubahan bentuk atau ukuran benda yang dikenai gaya (pegas, misalnya) dalam keadaan tanpa percepatan disebut pengukuran gaya secara statik.

B. Prasyarat

Agar dapat mempelajari modul ini anda harus telah dapat memahami pengertian gerak, kecepatan, percepatan, luas, besaran dan satuan pokok dan turunannya.

Di samping itu, anda juga harus melakukan percobaan percobaan dengan teliti untuk menemukan konsep yang benar.

C. Petunjuk Penggunaan Modul

a. Pelajarari daftar isi serta kedudukan modul dengan cermat dan teliti, karena dalam skema modul akan nampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari ini di antara modul-modul yang lain.
b. Perhatikan langkah-langkah dalam melakukan pemahaman konsep dengan benar serta proses penemuan hubungan antar konsep yang dapat menambah wawasan sehingga mendapatkan hasil yang optimal.
c. Pahami setiap konsep dasar pendukung modul ini misalnya, matematika dan mekanika.
d. Setelah mempelajari modul ini, jawablah tes formatif dengan jawaban yang singkat jelas dan tepat dan kerjakan sesuai dengan kemampuan anda.
e. Bila dalam mengerjakan tugas/soal anda menemukan kesulitan, konsultasikan dengan guru/instruktur yang ditunjuk.
f. Setiap kesulitan catatlah untuk dibahas dalam saat kegiatan tatap muka dengan guru/instruktur. Untuk lebih menambah wawasan diharapkan membaca referensi lain yang berhubungan dengan materi dalam modul ini.

D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini diharapkan anda dapat:

- membahas Pengertian gaya dan satuannya.
- menjelaskan hukum Newton tentang gerak.
- menerangkan pengertian massa, berat dan berat jenis.
- membedakan macam-macam gaya.
- menerangkan cara perhitungan gaya.

- menerangkan cara mengukur gaya dan beberapa aplikasi gaya dalam bidang teknik.
- menerangkan pengertian tekanan dan satuannya.
- menerangkan hubungan gaya dan tekanan.
- menjelaskan hukum Pascal, membedakan jenis-jenis tekanan.
- menunjukkan pengaruh tekanan terhadap titik didih.
- menunjukkan pengaruh ketinggian lokasi terhadap tekanan udara.
- mempraktekkan cara mengukur tekanan.

E. Kompetensi

Kompetensi : MENGIDENTIFIKASI GAYA DAN TEKANAN
Program Keahlian : Program Adaptif
Mata Diklat-Kode : FISIKA-FIS.04
Durasi Pembelajaran : 15 jam @ 45 menit

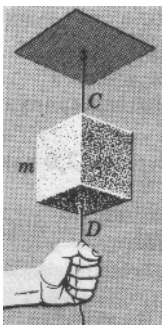
Sub Kompetensi	Kriteria unjuk kerja	Lingkup belajar	Materi Pokok Pembelajaran		
			Sikap	Pengetahuan	Ketrampilan
1. Mengidentifikasi gaya.	? Gaya diidentifikasi sesuai dengan macamnya.	? Gerak. ? Perpindahan. ? Hukum Newton tentang gerak. ? Gaya gesek. ? Gaya sentripetal.	? Teliti dalam membaca situasi. ? Cermat dalam mengambil keputusan.	? Pengertian gaya dan satuanya ? Hukum Newton tentang gerak ? Pengertian massa, berat dan berat jenis. ? Membedakan macam-macam gaya. ? Menerangkan cara perhitungan gaya. ? Menerangkan cara pengukuran gaya. ? Menunjukkan contoh aplikasi gaya dalam teknik.	? Mempraktekkan cara mengukur gaya

2. Mengidenti-fikasi jenis-jenis tekanan	? Tekanan diidentifikasi dengan tepat.	?Tekanan ?Pengaruh tekanan.	?Teliti dalam membaca situasi. ?Cermat dalam mengambil keputusan.	? Pengertian tekanan dan satuannya. ? Menerangkan hubungan gaya dan tekanan. ? Menerangkan hokum pascal. ? Membedakan jenis-jenis tekanan. ? Menunjukkan pengaruh tekanan terhadap titik didih. ? Menunjukkan pengaruh ketinggian lokasi terhadap tekanan udara.	? Mempraktekkan cara mengukur tekanan.

F. Cek Kemampuan

Kerjakanlah soal-soal berikut ini, jika anda dapat mengerjakan sebagian atau semua soal berikut ini, maka anda dapat meminta langsung kepada instruktur atau guru untuk mengerjakan soal-soal evaluasi untuk materi yang telah anda kuasai pada BAB III.

1. Berapakah massa anda dinyatakan dalam kg? Berapa pula berat anda dalam newton?
2. Sebuah balok bermassa m digantungkan dengan sebuah tali C pada langit-langit, dan tali lain (D) diikatkan pada bagian bawah balok (Gambar 1). Jelaskanlah kejadian berikut, jika tali D disentakkan ke bawah, tali itu akan putus, tetapi jika tali D ditarik perlahan-lahan, maka tali C yang akan putus.



Gambar 1.

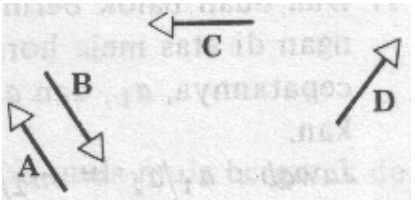
3. Sebutkan apakah pasanggan gaya-gaya berikut adalah contoh aksi-reaksi atau bukan: (a) bumi menarik tembok, tembok menarik bumi; (b) baling-baling pesawat terbang menarik udara ke dalam ke arah pesawat P-I udara mendorong pesawat ke depan; (c) kuda menarik kereta ke depan, sehingga kereta bergerak di percepat; kereta menarik kuda ke belakang; (d) kuda menarik kereta ke depan, tetapi kereta tetap diam; Kereta menarik kuda ke belakang; (e) kuda menarik kereta ke depan, tetapi kereta tetap diam; bumi menarik kereta dengan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah.

4. Dengan menggunakan gaya, panjang dan waktu sebagai besaran dasar, tentukanlah dimensi massa.

5. Berilah tanggapan untuk pernyataan-pernyataan berikut mengenai massa dan berat yang diambil dari beberapa kertas ujian (a) Massa dan berat adalah besaran fisis yang sama, hanya dinyatakan dalam satuan yang berbeda; (b) massa adalah sifat satu benda saja sedangkan berat dihasilkan oleh interaksi dua benda; (c) berat benda sebanding dengan massanya; (d) massa. benda berubah-ubah menurut berat lokalnya.

6. Apakah percepatan benda jatuh b bebas bergantung kepada berat benda itu?

7. Dalam Gambar 2, diperlihatkan empat buah gaya yang besarnya kira-kira sama. Kombinasi tiga gaya bagaimana yang dapat mempertahankan benda agar tetap dalam keseimbangan translasi?



Gambar 2.

8. Dalam pertandingan tarik tambang, tiga orang menarik tambang ke kiri di A dan tiga orang yang lain menarik ke kanan di B dengan gaya yang sama besar. Kemudian sebuah beban seberat 5,0 pon digantungkan vertikal di tengah-tengah tambang. Pertanyaan: (a) Dapatkah orang-orang tersebut menarik tali AB sehingga tali horizontal? (b) Jika tidak, jelaskanlah mengapa; (c) Jika dapat, hitunglah gaya di A dan di B yang diperlukan untuk ini.

9. Seutas tali tak bermassa digantungkan melalui sebuah katrol licin. Seekor monyet bergelantung pada ujung tali yang satu, dan pada ujung, yang lain digantungkan cermin yang sama beratnya dengan monyet tersebut. Dapatkah monyet tersebut menghindarkan diri dari bayangannya dalam cermin (a) dengan memanjat tali ke atas,

(b) dengan menuruni tali ke bawah, (c) dengan melepaskan pegangannya pada tali?

10. Andaikan anda berdiri di atas piringan neraca pegas untuk menimbang berat badan. Bila kemudian anda melangkah di atas piringan tersebut, maka pada awal langkah pembacaan skala menunjukkan angka yang lebih kecil daripada berat badan anda, dan pada akhir langkah lebih besar. Jelaskan!

BAB II PEMBELAJARAN

A. Rencana Belajar Peserta Diklat

Kompetensi : Pengukuran Gaya dan Tekanan
Sub Kompetensi : 1. Mengidentifikasi gaya
2. Mengidentifikasi Tekanan

Jenis Kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat Belajar	Alasan Perubahan	Tanda Tangan Guru

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Kegiatan Pembelajaran 1

a. Tujuan Kegiatan pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan I, diharapkan anda dapat:

- ☞ membahas pengertian gaya dan satuannya.
- ☞ menjelaskan hukum Newton tentang gerak.
- ☞ menerangkan pengertian massa, berat dan berat jenis.
- ☞ membedakan macam-macam gaya.
- ☞ menerangkan cara perhitungan gaya.
- ☞ menerangkan cara mengukur gaya dan beberapa aplikasi gaya dalam teknologi.

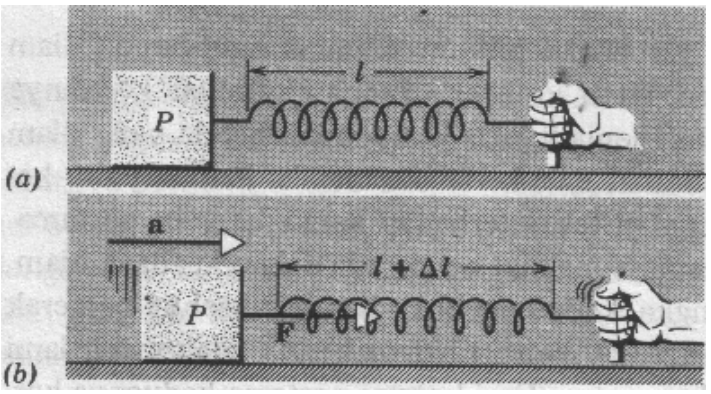
b. Uraian materi

a) Konsep Gaya

Konsep gaya dapat didefinisikan secara operasional. Dalam bahasa sehari-hari gaya sering diartikan sebagai dorongan atau tarikan, terutama yang dilakukan oleh otot-otot manusia. Dalam fisika gaya perlu mendefinisikannya secara lebih terperinci dan tepat. Dalam fisika gaya dinyatakan dalam percepatan yang dialami oleh suatu benda standar bila diletakkan dalam lingkungan tertentu yang sesuai.

Sebagai benda standar bisa kita gunakan (atau lebih tepat kita bayangkan bahwa kita menggunakan) kilogram standar. Benda ini dipilih sebagai standar massa dan diberikan, per definisi, massa m_0 tepat 1 kg. Benda standar tersebut diikatakan pada ujung pegas dan diletakkan di atas sebuah meja horizontal yang gesekannya dapat diabaikan. Keduanya berlaku sebagai lingkungan bagi benda tersebut. Ujung pegas yang lain kita pegang dengan tangan seperti dalam Gambar 3a. Sekarang pegas

kita tarik horizontal ke kanan, dengan coba-coba diusahakan agar benda mengalami percepatan konstan 1,0 m/s^2. Pada keadaan ini dikatakan, sebagai definisi, bahwa pegas (yaitu lingkungan utama benda) melakukan gaya konstan pada benda yang besarnya kita sebut "1,00 newton," atau dalam notasi SI: 1,00 N. Kita lihat bahwa dalam melakukan gaya ini pegas terentang sepanjang ?l melebihi panjang normalnya ketika kendur, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.b.



Gambar 3 (a) Sebuah "partikel" *P* (kilogram standar) diam di atas permukaan horizontal tanpa gesekan; (b) Benda dipercepat dengan menarik pegas ke kanan.

Percobaan dapat diulangi, dengan merentangkan pegas lebih panjang atau menggunakan pegas lain yang lebih kaku, sehingga percepatan benda standar yang diamati menjadi 2,00 m/s^2. Sekarang dikatakan bahwa pegas memberikan gaya 2,00 N pada benda standar. Secara umum dapat dikatakan, bahwa jika dalam suatu lingkungan benda standar mendapat percepatan *a*, maka berarti lingkungan memberikan gaya *F* pada benda, yang secara numerik harga *F* (dalam newton) sama dengan *a* (dalam m/s^2).

Masih harus diperiksa, apakah gaya, seperti yang kita definisikan di atas, termasuk besaran vektor atau bukan. Dalam gambar *3b* telah diberikan besar gaya F dan tidak sulit juga untuk menyatakan arahnya, yaitu arah percepatan yang dihasilkan oleh gaya itu. Tetapi untuk menyatakan bahwa sesuatu adalah vektor tidak cukup dengan melihat bahwa ia memiliki besar dan arah saja, harus diperiksa juga bahwa ia memenuhi hukum penjumlahan vektor seperti yang diuraikan dalam

uraian selanjutnya. Hanya dari eksperimen dapat diperiksa bahwa gaya yang didefinisikan di atas benar-benar memenuhi aturan tersebut.

Jika pada benda standar tersebut diberikan gaya sebesar 4,00 N sepanjang sumbu-x dan 3,00 N sepanjang sumbu-y secara serempak, bagaimanakah percepatan benda standar itu? Secara eksperimen diperoleh bahwa besar percepatannya adalah 5,00 m/s2 dalam arah sepanjang garis yang membentuk sudut 37^{0} dengan sumbu-x. Dengan perkataan lain, dapat dikatakan bahwa benda standar tersebut mengalami gaya sebesar 5,00 N dalam arah seperti di atas. Hasil ini dapat diperoleh juga dengan menjumlahkan kedua gaya 4,00 N dan 3,00 N di atas secara vektor dengan menggunakan metoda jajaran-genjang. Percobaan ini memberi kesimpulan bahwa gaya adalah vektor, ada besarnya, ada arahnya dan jumlahnya mengikuti aturan jajaran-genjang.

Hasil percobaan dalam bentuk yang umum sering dinyatakan sebagai berikut: *"Jika beberapa gaya bekerja pada sebuah benda, masing-masing akan menimbulkan percepatan sendiri secara terpisah. Percepatan yang dialami benda adalah jumlah vektor dari berbagai percepatan yang terpisah itu."*

b) Sistem Satuan Gaya

Satuan gaya didefinisikan sebagai sebuah gaya yang menimbulkan satu satuan percepatan bila dikerjakan pada satu satuan massa. Dalam bahasa SI, satuan gaya adalah gaya yang akan mempercepat massa satu-kg sebesar satu m/s^2; dan seperti telah kita lihat, satuan ini disebut newton (disingkat, N). Dalam sistem cgs (centimeter, gram, sekon), satuan gaya adalah gaya yang akan mempercepat massa satu-g sebesar satu cm/s^2; satuan ini disebut dyne. Karena I kg= 103 g dan I m/s^2 = 102 cm/s^2 maka diperoleh bahwa 1 N = 10' dyne.

Dalam masing-masing sistem satuan tersebut, telah dipilih massa, panjang dan waktu sebagai besaran-besaran dasar. Untuk besaran-besaran dasar ini diperlukan standar dan definisi satuan dinyatakan

Dalam standar tersebut. Gaya muncul sebagai besaran turunan, yang ditentukan dari hubungan F = m a.

Dalam sistem satuan BE (*British engineering*), yang dipilih sebagai besaran dasar adalah gaya, panjang dan waktu, sedangkan massa menjadi besaran turunan. Dalam sistem ini massa ditentukan dari hubungan m = F/a. Standar dan satuan gaya dalam sistem ini adalah pon (pound). Sesungguhnya, pon gaya semula didefinisikan sebagai terikan bumi terhadap suatu benda standar tertentu di suatu tempat tertentu di permukaan bumi. Secara operasional, gaya ini dapat ditentukan dengan menggantungkan benda standar pada pegas di suatu tempat tertentu di mana tarikan bumi padanya didefinisikan sebagai gaya satu pon. Jika benda dalam keadaan diam tarikan bumi pada benda, yaitu beratnya W, diimbangi oleh tegangan pegas, sehingga dalam hal ini T = W = satu pon Sekarang pegas ini (atau pegas lain setelah ditera) dapat digunakan untuk menimbulkan gaya satu pon pada benda lain; caranya adalah dengan mengikatkan benda tersebut pada pegas ini dan merentangkannya sepanjang rentangan gaya pon tadi. Benda standar pon dapat dibandingkan dengan kilogram dan ternyata massanya adalah 0,45359237 kg. Percepatan gravitasi di tempat tertentu tersebut besarnya 32.1740 kaki/s^2. Pon gaya dapat ditentukan dari F = m.a sebagai gaya yang mempercepat massa sebesar 0,45359237 kg dengan percepatan sebesar 31,1740 kaki/s^2

Cara ini memungkinkan kita untuk membandingkan pon-gaya dengan Newton. Dengan mengingat bahwa 32,1740 kaki/s^2, sama dengan 9,8066 m/s^2, kita peroleh

1 pon = (0,45359237 kg) (32,1740 kaki/s^2)

= (0,45359237 kg) (9,8066 m/s^2)

= 4,45 N.

Satuan massa dalam sistem British engineering dapat pula diturunkan, yaitu didefinisikan sebagai massa sebuah benda yang akan

mendapat percepatan 1 kaki/s^2 bila dikerjakan gaya 1 pon padanya. Satuan massa ini disebut slug. Jadi dalam sistem ini

$$F\ [pon] = m\ [slug] \times a\ [kaki/s^2]$$

Resminya, pon adalah satuan massa, tetapi dalam teknologi praktis pon sering digunakan sebagai satuan gaya atau satuan berat. Karena itu lahirlah istilah pon-massa dan pon-gaya. Pon-massa adalah benda bermassa 0,453 59237 kg; tidak ada benda standar yang disimpan untuk ini, tetapi, seperti halnya yard, pon-massa didefinisikan melalui standar SI. Pon-gaya adalah gaya yang menimbulkan percepatan gravitasi standar 32,1740 kaki/s^2, pada standar pon nanti akan kita lihat bahwa percepatan gravitasi berbeda-beda, bergantung kepada jarak dari pusat bumi, karena itu "percepatan standar" di atas adalah harga pada jarak tertentu dari pusat bumi (sebagai pendekatan yang baik, dapat diambil suatu titik di permukaan laut pada lintang 450 LU).

Dalam modul ini ukuran pon hanya digunakan untuk gaya, sehingga satuan massa yang bersesuaian dengan itu adalah slug. Satuan gaya, massa dan percepatan dalam ketiga sistem di atas dirangkumkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Satuan-satuan dalam F = m a

Sistem satuan	Gaya	Massa	Percepatan
SI	newton (N)	kilogram (kg)	m/s^2
cgs	dyne	gram (g)	cm/s^2
BE	pound (lb)	slug	kaki//s^2

Dimensi gaya sama dengan dimensi massa kali percepatan. Dalam sistem yang menggunakan massa, panjang dan waktu sebagai besaran dasar, dimensi gaya adalah massa x panjang/waktu^2 atau MLT^{-2}. Di sini kita akan senantiasa menggunakan massa, panjang dan waktu sebagai besaran dasar mekanika.

c) Hukum – Newton Kedua

Baiklah kita pasang lagi pegas pada benda standar (kilogram standar, yang padanya secara bebas telah kita berikan massa m_0 tepat satu kg) dan kita berikan padanya percepatan a_0, katakanlah sebesar 2,00 m/s^2 dengan menggunakan cara seperti dalam Gambar 3*b*. Kita ukur pula pertambahan panjang pegas ?l, yang berhubungan dengan gaya yang dilakukan oleh pegas pada balok.

Sekarang gantikan benda standar dengan sembarang benda lain, yang kita beri ciri massa m_1 dan kita berikan gaya yang sama (yaitu gaya yang memberikan percepatan 2,00 m/s^2 pada kilogram standar) pada benda tersebut (dengan mengusahakan agar pegas terentang seperti tadi) dan kita ukur percepatannya, a_1 misalkan sebesar 0,50 m/s^2.

Perbandingan massa kedua benda di atas didefinisikan sebagai kebalikan perbandingan percepatan yang dialami masing-masing benda yang ditimbulkan oleh gaya yang sama, yaitu

$m_1/m_0 = a_0/a_1$ (dengan gaya **F** sama)

Secara numerik, untuk contoh di atas kita peroleh

$m_1 = m_0 (a_0/a_1) = 1{,}00 \text{ kg } [(2{,}00\ 00 \text{ m/s}^2)/(0{,}05 \text{ m/s}^2)]$

$= 4{,}00$ kg.

Benda kedua, yang oleh gaya yang sama, hanya memperoleh percepatan seperempat kali percepatan benda pertama, memiliki massa, per-definisi, empat kali massa benda pertama. Karena itu massa dapat dipandang sebagai ukuran kuantitatif untuk menyatakan inersia.

Jika percobaan di atas diulangi dengan menggunakan gaya lain (tetapi masih tetap sama untuk kedua benda), ternyata perbandingan percepatannya, $a_0?/a_1?$, sama seperti semula, yaitu

$$m_1/m_0 = a_0/a_1 = a_0?/a_1?$$

Semua eksperimen dan definisi di atas dapat dirangkumkan dalam sebuah persamaan, yang merupakan persamaan dasar mekanika klasik, yaitu

$$\mathbf{F = m\,a} \quad \text{.....(1)}$$

Dalam persamaan ini F adalah jumlah (vektor) semua gaya yang bekerja pada benda, m adalah massa benda, dan a adalah (vektor) percepatannya. Persamaan 1 dapat diambil sebagai pernyataan hukum Newton kedua. Jika persamaan tersebut dituliskan dalam bentuk a = F/m, tampak jelas bahwa percepatan benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya dan arahnya sejajar dengan arah gaya tersebut. Juga tampak bahwa untuk suatu gaya tertentu, percepatan benda berbanding terbalik dengan massa benda.

Perhatikan bahwa hukum gerak pertama tercakup dalam hukum kedua sebagai hal khusus, yaitu bila F = 0, maka a = 0. Dengan perkataan lain jika resultan gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan nol, maka percepatannya juga sama dengan nol. Jadi bila tidak ada gaya yang bekerja pada benda, benda akan bergerak dengan kecepatan konstan atau diam (kecepatan nol); ini tidak lain daripada pernyataan hukum gerak yang pertama. Dengan demikian dari ketiga hukum Newton hanya dua yang bebas (tidak bergantungan), yaitu hukum kedua dan ketiga. Bagian dinamika gerak partikel yang hanya memuat sistem dengan resultan gaya F sama dengan nol disebut statika.

Persamaan 1 adalah persamaan vektor dan dapat dituliskan sebagai tiga buah persamaan skalar,

$$F_x = m\,a_x, \quad F_y = m a_y, \text{ dan } F_z = m\,a_z, \quad \text{.....(2)}$$

yang menghubungkan komponen x, y dan z resultan gaya (F_x, F_y dan F_z) dengan komponen x, y dan z percepatan a_x, a_y, dan a_z, dari benda bermassa m. Perlu diingatkan di sini bahwa F_x, adalah jumlah komponen-x semua gaya, F_y adalah jumlah komponen-y semua gaya,

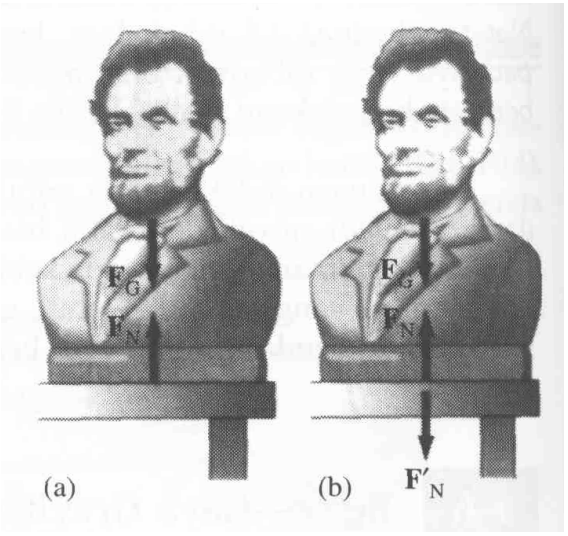
dan F_z adalah jumlah komponen-z semua gaya yang bekerja pada massa m.

d) Gaya Gravitasi; dan Gaya Normal

Gelileo menyatakan bahwa benda-benda yang dijatuhkan di dekat permukaan Bumi akan jatuh dengan percepatan yang sama, g, jika hambatan udara dapat diabaikan. Gaya yang menyebabkan percepatan ini disebut gaya gravitasi. Sekarang kita terapkan hukum Newton kedua untuk gaya gravitasi; dan untuk percepatan, a, kita gunakan percepatan ke bawah yang disebabkan oleh gravitasi, g. Dengan demikian, gaya gravitasi pada sebuah benda, FG, yang besarnya biasa disebut berat, dapat ditulis sebagai

$$F_G = mg.$$

Arah gaya ini ke bawah menuju pusat Bumi.



Gb. 4

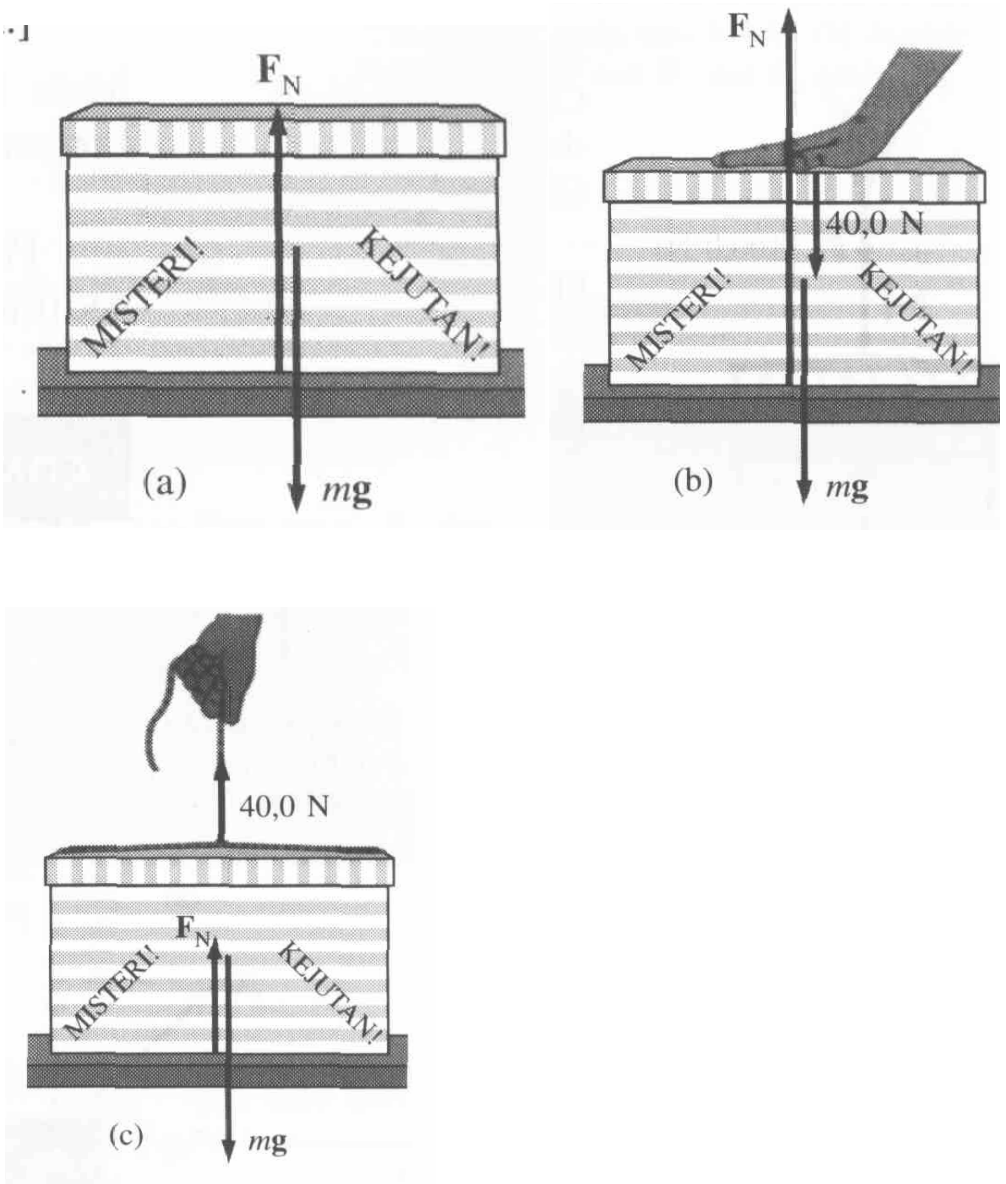
Dalam satuan SI, g = 9,80 m/s2 = 9,80 N/kg,+ sehingga berat benda yang massanya 1,00 kg di Bumi adalah 1,00 kg x 9,80 m/s2 = 9,80 N. Kita terutama akan berurusan dengan berat di Bumi, tetapi kita ketahui bahwa di Bulan, atau di planet lainnya, atau di luar angkasa, berat suatu benda akan berbeda. Sebagai contoh, *g* di Bulan kira-kira seperenam di Bumi, dan massa 1,0 kg hanya mempunyai berat

1,7 N. Walaupun kita tidak akan menggunakan satuan Inggris, kita perlu tahu bahwa untuk tujuan-tujuan praktis di Bumi, massa 1 kg mempunyai berat 2,2 Ib (Di Bulan, 1 kg hanya memiliki berat sekitar 0,4 Ib.)

Gaya gravitasi bekerja pada sebuah benda ketika benda tersebut jatuh. Ketika benda berada dalam keadaan diam di Bumi, gaya gravitasi padanya tidak hilang, sebagaimana bisa kita ketahui jika kita menimbangnya dengan neraca pegas. Gaya yang sama, dari Persamaan 4-3, tetap bekerja. Jadi, mengapa benda tidak bergerak? Dari hukum Newton kedua, gaya total pada sebuah benda yang tetap diam adalah nol. Pasti ada gaya lain pada benda tersebut untuk mengimbangi gaya gravitasi. Untuk sebuah benda yang diam di atas meja, meja tersebut memberikan gaya ke atas; lihat Gb. 2a. Meja sedikit tertekan di bawah benda, dan karena elastisitasnya, meja itu mendorong benda ke atas seperti diperlihatkan pada gambar. Gaya yang diberikan oleh meja ini sering disebut gaya kontak, karena terjadi jika dua benda bersentuhan (Gaya pada tangan Anda yang mendorong kereta juga merupakan gaya kontak). Ketika gaya kontak *tegak lurus* terhadap permukaan kontak, gaya itu biasa disebut gaya normal ("normal" berarti tegak lurus); dan pada diagram diberi label F_N.

Kedua gaya bekerja pada patung, yang tetap dalam keadaan diam, sehingga jumlah vektor kedua gaya ini pasti nol (hukum Newton kedua). Dengan demikian F_G dan F_N harus memiliki besar yang sama dan berlawanan arah. Tetapi gaya-gaya tersebut *bukan* gaya-gaya yang sama dan berlawanan arah yang dibicarakan pada hukum Newton ketiga. Gaya aksi dan reaksi hukum Newton ketiga bekerja pada *benda yang berbeda,* sementara kedua gaya bekerja pada benda yang *sama.* Untuk setiap gaya, kita bisa menanyakan, " Apa gaya reaksinya?" Gaya ke atas, F_N, pada patung diberikan oleh meja. Reaksi terhadap gaya ini adalah gaya yang diberikan oleh patung kepada meja. Gaya ini diberi label F'_N. Gaya ini, F'_N, yang diberikan pada meja oleh patung, adalah

gaya reaksi terhadap F_N yang sesuai dengan hukum Newton ketiga. (Kita juga dapat mengatakan sebaliknya: gaya F_N pada patung yang diberikan oleh meja adalah reaksi terhadap gaya F'_N yang diberikan pada meja oleh patung.)



Gb. 5

Sekarang, bagaimana dengan gaya lain pada patung, gaya gravitasi. Dapatkan anda menebak apa reaksi terhadap gaya ini? (Kita akan n pada uraian selanjutnya bahwa gaya reaksi juga merupakan

gaya gravitasi yang ada pada Bumi oleh patung, dan dapat dianggap bekerja di pusat Bumi.

Sebagai contoh:

Berat, gaya normal, dan sebuah kotak seorang teman memberi anda sebuah hadiah istimewa, sebuah kotak dengan massa 10,0 kg dengan suatu kejutan di dalamnya. Kotak ini merupakan hadiah atas prestasi anda pada ujian akhir fisika. Kotak tersebut berada dalam keadaan diam pada permukaan meja yang licin (tidak ada gesekan). Tetukan:

(a) Berat kotak dan gaya normal yang bekerja padanya.

(b) Sekarang teman Anda menekan kotak itu ke bawah dengan gaya 40,0 N. Tentukan kembali gaya normal yang bekerja pada kotak.

(c) Jika teman Anda menarik kotak ke atas dengan gaya 40,0 N, berapa gaya normal pada kotak sekarang?

PENYELESAIAN

(a) Kotak sedang berada dalam keadaan diam di atas meja. Berat kotak adalah mg = (10,0 kg)(9,80 m/s^2) = 98,0 N, dan gaya ini bekerja ke bawah. Satu-satunya gaya lain pada kotak adalah gaya normal yang diberikan ke atas oleh meja. Kita pilih arah ke atas sebagai arah y positif, dan kemudian gaya total £F pada kotak adalah £F = F_N - mg. Karena kotak dalam keadaan diam, gaya total padanya harus nol (£F = ma, dan a = 0). Dengan demikian

$$?F_Y = F_N - mg = 0$$

sehingga dalam hal ini kita dapatkan

$$F_N = mg$$

Gaya normal pada kotak, yang diberikan oleh meja, adalah 98,0 N ke atas, dan mempunyai besar yang sama dengan berat kotak.

(b) Teman Anda menekan kotak ke bawah dengan gaya 40,0 N. Sehingga sekarang ada tiga gaya yang bekerja pada kotak.. Berat kotak tetap mg = 98,0 N. Gaya total adalah LF_y = F_N - mg - 40,0 N,

dan sama dengan nol karena kotak tetap diam. Dengan demikian, karena $a = 0$, hukum Newton kedua menyatakan

$$?F_y = F_N - mg - 40{,}0\ \text{N} = 0,$$

sehingga sekarang gaya normal adalah

$$F_N = mg + 40{,}0\ \text{N} = 98{,}0\ \text{N} + 40{,}0\ \text{N} = 138{,}0\ \text{N}.$$

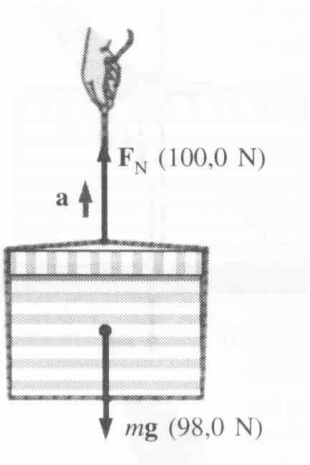
yang lebih besar dari (a). Meja mendorong balik dengan gaya yang lebih besar.

(c) Berat kotak tetap 98,0 N dan bekerja ke bawah. Baik gaya yang diberikan oleh teman Anda maupun gaya normal bekerja ke atas (arah positif). Kotak tidak bergerak karena gaya ke atas oleh teman Anda lebih kecil dari berat. Gaya total, yang kembali memiliki nilai nol, adalah

$$?F_y = F_N - mg + 40{,}0\ \text{N} = 0,$$

sehingga,

$$F_N = mg - 40{,}0\ \text{N} = 9{,}8\ \text{N} - 40{,}0\ \text{N} = 58{,}0\ \text{N}.$$



Gb. 6

Meja tidak mendorong balik sepenuhnya terhadap kotak karena adanya tarikan ke atas dari teman Anda.

Perhatikan bahwa gaya normal sebenarnya elastis (meja pada Gb. 6 sedikit melengkung ke bawah karena berat kotak).

e) Hukum Gerak Newton Yang Ketiga

Gaya yang bekerja pada suatu benda berasal dari benda-benda lain yang membentuk lingkungannya. Suatu gaya tunggal hanyalah salah satu bagian dari interaksi timbal-balik antara dua benda. Secara eksperimen diketahui bahwa jika sebuah benda melakukan gaya pada benda kedua, maka benda kedua selalu membalas melakukan gaya pada yang pertama. Selanjutnya diketahui pula bahwa kedua benda ini sama besar, tetapi arahnya berlawanan. Karena itu tidak mungkin memperoleh sebuah gaya tunggal terisolasi.

Jika salah satu di antara dua gaya yang muncul dalam interaksi dua benda disebut gaya "aksi," maka yang lain disebut gaya "reaksi." Yang mana saja dapat dipandang sebagai "aksi" dan yang lain "reaksi." Di sini tidak mengandung pengertian sebab dan akibat, yang ada hanyalah interaksi timbal-balik secara serampak.

Sifat gaya ini pertama-kali diungkapkan oleh Newton dalam hukum geraknya yang ketiga: "Untuk setiap aksi selalu terdapat reaksi yang sama besar dan berlawanan arah; atau, aksi timbal-balik satu terhadap yang lain antara dua benda selalu sama besar, dan berarah ke bagian yang berlawanan."

Dengan perkataan lain, jika benda A melakukan gaya pada benda B, maka benda B akan melakukan gaya pula pada benda A dengan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah; malah kedua gaya itu terletak sepanjang garis lurus yang menghubungkan kedua benda. Perlu diingatkan bahwa gaya aksi dan reaksi selalu terjadi berpasangan dan bekerja pada benda yang berbeda. Seandainya keduanya terjadi pada benda yang sama, tentu tidak pernah ada gerak dipercepat karena resultan gaya pada setiap benda selalu sama dengan nol.

Umpamakanlah seorang anak menendang pintu sampai terbuka, gaya yang dilakukan oleh anak A pada pintu P memberikan percepatan pada pintu (pintu menjadi terbuka pada saat yang sama pintu P melakukan gaya pada anak A, menimbulkan perlambatan (kecepatan

kakinya berkurang). Anak tersebut akan merasa kesakitan, terutama bila ia bertelanjang kaki, sebagai akibat adanya gaya "reaksi" terhadap "aksi"nya itu. Contoh-contoh berikut menggambarkan penerapan hukum ketiga agar lebih jelas lagi artinya.

Sebagai contoh:

Misalkan seseorang memberikan tarikan mendatar pada sebuah tali yang ujungnya diikatkan pada balok yang terletak di atas meja horizontal. Orang tersebut menarik tali dengan gaya F_{MR}. Tali memberikan gaya reaksi F_{RM}, pada orang. Menurut hukum Newton ketiga, $F_{MR} = - F_{RM.}$ Tali juga menarik balok dengan gaya F_{RB} dan balok mengadakan gaya reaksi F_{BR} pada tali. Di sini pun menurut hukum ketiga berlaku $F_{RB} = - F_{BR}$.

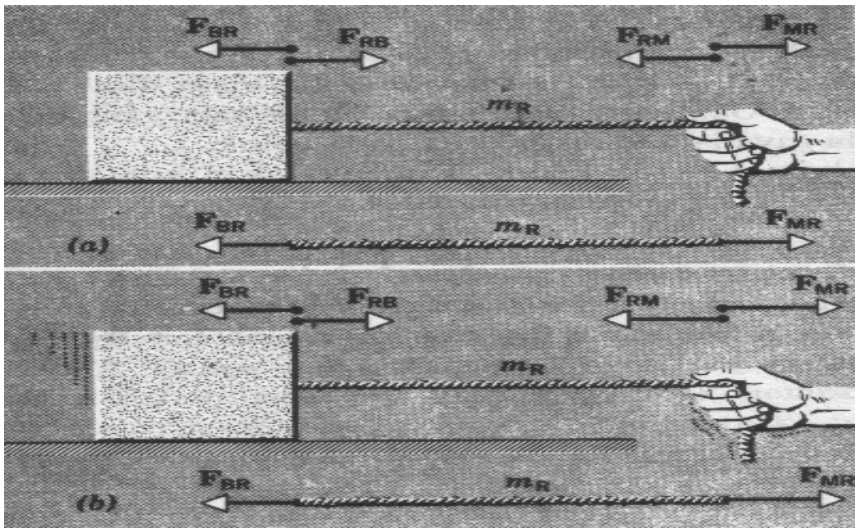
Andaikan tali memiliki massa m_R. Maka, agar balok dan tali mulai bergerak (dari keadaan diam) haruslah ada percepatan, katakanlah a. Gaya-gaya yang bekerja pada tali hanyalah F_{MR} dan $F_{BR,}$ sehingga gaya resultannya adalah $F_{MR} + F_{BR}$ dan ini tidak boleh sama dengan nol agar tali dipercepat. Sesungguhnya, dari hukum kedua kita peroleh bahwa

$$F_{MR} + F_{BR} = M_R a$$

Karena gaya-gaya di atas dan percepatannya terletak segaris, maka notasi vektornya dapat dihilangkan dan diganti dengan hubungan antara besar vektor saja, yaitu

$$F_{MR} - F_{BR} = m_R a$$

Kita lihat bahwa pada umumnya besar F_{MR} tidak sama dengan besar F_{BR}. Kedua gaya ini bekerja pada benda yang sama, karena itu bukan pasangan aksi dan reaksi.



Gambar 7. Contoh 1. Seseorang menarik tali yang diikatkan pada balok. (a) Gaya-gaya yang dilakukan tali dan oleh orang, sama besar dan berlawanan arah. Karena itu resultan gaya horizontal tali sama dengan nol, seperti diperlihatkan dalam diagram benda-bebas (*free-body diagram*). Tali tidak mengalami percepatan. (b) Gaya yang dilakukan oleh orang lebih besar daripada oleh tali. Gaya horizontal netto besarnya FMR - FBR, dan berarah ke kanan. Tali dipercepat ke kanan. Sebetulnya bekerja juga gaya gesekan, tetapi tidak diperlihatkan di sini.

Menurut hukum Newton, ketiga besar F_{MR} selalu sama dengan besar F_{RM} dan besar F_{RB} sama dengan besar F_{RB}. Pasangan gaya F_{RB} dan F_{RB} akan sama besar dengan pasangan F_{BR} dan F_{RB} hanya jika percepatan a sistem sama dengan nol. Dalam hal khusus ini, dapat dibayangkan bahwa tali hanya meneruskan gaya yang dilakukan oleh orang tanpa perubahan. Secara prinsip, hasil yang sama berlaku juga bila, $m_R = 0$. kenyataannya, tidak pernah dijumpai tali yang tidak bermassa; tetapi seringkali massa tali dapat diabaikan, dalam hal ini tali dianggap hanya meneruskan gaya tanpa perubahan. Gaya yang bekerja suatu titik tali disebut tegangan (tension) di titik tersebut. Tegangan di sembarang titik tali dapat diukur dengan memotong sebagian tali di titik itu, dan kemudian disisipkan timbangan pegas di antaranya; pembacaan penunjukkan timbangan menyatakan tegangan di titik tersebut. Tegangan di setiap titik tali akan sama hanya jika tali tidak dipercepat atau jika tali dianggap tidak bermassa.

Sebagai contoh:

Tinjaulah sebuah pegas yang digantungkan pada langit-langit dan ujung lainnya diikatkan sebuah benda dalam keadaan diam. Karena tidak ada yang mendapat percepatan, maka haruslah jumlah (vektor) semua gaya yang bekerja pada tiap benda sama dengan nol. Gaya yang bekerja pada balok adalah T, tegangan dari pegas yang terentang, berarah vertikal ke atas, dan W, tarikan bumi vertikal ke bawah yang biasa disebut berat. Keduanya digambarkan dalam Gambar 3b, hanya balok saja yang ditunjukkan agar lebih jelas. Tidak ada gaya lain yang bekerja pada balok.

Dalam hukum Newton kedua, F menyatakan jumlah dari semua gaya yang bekerja pada benda, sehingga untuk balok

$$F=T+W$$

Balok berada dalam keadaan diam, karena itu percepatannya sama dengan nol, a = 1 sehingga dari hubungan F = m a diperoleh T + W = 0, atau

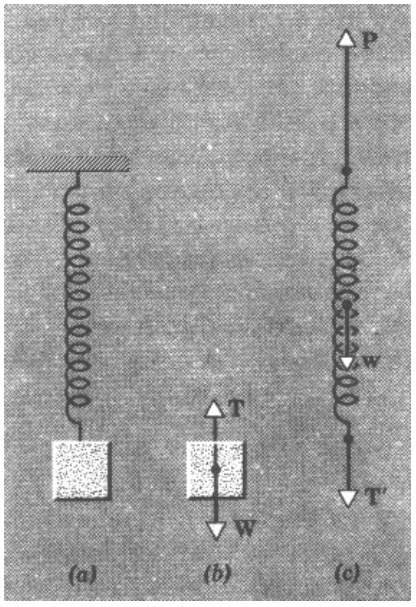
$$T= - W$$

Gaya-gaya tersebut bekerja dalam satu garis, sehingga besarnya haruslah sama,

$$T= W$$

Jadi kita lihat bahwa tegangan pegas merupakan ukuran pasti (eksak) bagi berat balok. Kenyataan ini akan kita gunakan nanti untuk mengukur gaya dengan cara statik.

Baik juga kita tinjau gaya-gaya yang bekerja pada pegas; gaya-gaya tersebut ditunjukkan dalam T', adalah tarikan balok pada pegas dan merupakan reaksi dari gaya aksi T. Jadi besar T' sama dengan besar T, yang sama juga dengan W. P adalah tarikan ke atas oleh langit-langit pada pegas, dan W adalah berat pegas, yaitu tarikan bumi pada pegas. Karena pegas berada dalam keadaan diam dan semua gaya bekerja dalam satu garis maka kita peroleh



Gambar 8. (a) Sebuah balok digantungkan pada sebuah pegas. (b) Diagram benda bebas yang menunjukkan semua gaya vertikal yang bekerja pada balok. (c) Diagram yang serupa untuk gaya-gaya vertikal pada pegas.

$$P + T' + w = 0$$

atau $P = W + w$

Jadi langit-langit menarik pegas ke atas dengan gaya yang besarnya sama dengan jumlah berat balok dan pegas.

Dari hukum gerak ketiga, gaya yang dilakukan oleh pegas pada langit-langit, P', haruslah sama besar dengan P, yaitu gaya reaksi terhadap aksi P'. Jadi besar P' juga W + w.

Pada umumnya, pegas melakukan gaya yang berbeda pada benda-benda diujungnya, yaitu P' ? T. Dalam hal khusus bila berat pegas dapat diabaikan, w = 0. maka P' = W = T. Jadi pegas (atau tali) yang tidak mempunyai berat dapat dipandang hanya meneruskan gaya dari ujung yang satu ke ujung yang lain tanpa perubahan.

Perlu juga kita ketahui pengelompokan gaya-gaya dalam soal ini menurut pasangan aksi-reaksinya. Reaksi untuk W, yaitu gaya oleh bumi pada balok, haruslah gaya yang dilakukan oleh balok pada bumi. Serupa dengan itu reaksi untuk w adalah gaya oleh pegas pada bumi. Karena bumi sangatlah masif (pejal) tentunya gaya-gaya ini tidak akan menimbulkan percepatan yang berarti pada bumi. Dalam diagram bumi

tidak digambarkan, karena itu gaya-gaya ini juga tidak nampak. Pasangan gaya T dan T' dan pasangan P dan P' adalah aksi-reaksi. Walaupun di sini T = - W, mereka bukanlah pasangan aksi-reaksi, karena gaya-gaya ini bekerja pada benda yang sama.

f) Hukum - Hukum Dan Macam Macam Gaya

Ketiga hukum gerak yang telah kita bahas baru menyatakan sebagian dari program mekanika yang disebutkan dalam bagian. Masih harus diselidiki hukum-hukum gaya yang menunjukkan cara untuk menghitung gaya yang bekerja pada benda dinyatakan dalam sifat-sifat benda dan lingkungannya. Hukum Newton kedua

$$F = m\,a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

pada dasarnya bukanlah Hukum alam, melainkan hukum yang menyatakan definisi gaya. Yang masih ingin kita cari adalah berbagai fungsi dalam bentuk

$$F = \text{fungsi dari sifat partikel dan lingkungannya}, \ldots \quad (4)$$

sehingga kita dapat mengeliminasi (menghilangkan) F dari persamaan 3 dan 4. Hasil eliminasi ini akan memberikan persamaan yang memungkinkan kita untuk menghitung percepatan partikel dinyatakan dalam sifat partikel dan lingkungannya. Jelas di sini bahwa gaya adalah suatu konsep yang menghubungkan percepatan partikel pada satu sisi dengan sifat partikel dan lingkungannya pada sisi yang lain. Di depan telah disebutkan bahwa salah satu patokan untuk menyatakan bahwa program mekanika yang dijalankan sungguh berhasil adalah bila ternyata hukum-hukum sederhana sejenis persamaan 4 memang benar-benar ada. Kenyataannya memang demikian, dan hal ini menjadi alasan penting mengapa kita "percaya" akan hukum-hukum mekanika klasik. Seandainya ternyata hukum-hukurn gaya tersebut sangat rumit kita tidak akan merasa memperoleh pengertian tentang tata-kerja alam.

Macam lingkungan yang mungkin bagi suatu partikel yang dipercepat sangatlah banyak, sehingga tidak mungkin memasukkan

semua hukum gaya secara terperinci ke dalam pasal ini. Tabel 3 memuat hukum-hukurn gaya yang berlaku bagi lima macam partikel-plus-lingkungan. Masing-masing hukum ini dan hukum gaya yang lain akan dibahas lebih terperinci dalam teks pada bagian yang sesuai; beberapa hukum dalam Tabel 3 merupakan pendekatan atau hal khusus.

Tabel 3. Hukum-hukum gaya

Sistem	Macam-macam Gaya
1. Balok di atas permuka-an horizontal kasar, digerakkan oleh pegas yang direntangkan. 2. Bola golf yang sedang melayang 3. Satelit buatan 4. Elektron di dekat bola bermuatan positif 5. Dua batang magnet	(a) Gaya pegas: F = -kx, dengan x adalah pertambahan panjang pegas dan k adalah konstanta yang menggambarkan sifat pegas; F mengarah ke kanan. (b) Gaya gesekan: F = ?mg, dengan ? adalah koefisien gesekan dan mg adalah berat balok: F mengarah ke kiri. F = mg; F mengarah ke bawah F = GmM/r^2, dengan G adalah konstanta gravitasional, M massa bumi dan r jejari orbit; adalah hukum gravitasi universal Newton. F = (1/4??$_0$)eQ/r^2, dengan $?_0$ adalah konstanta, e muatan elektron, Q muatan pada bola, r jarak dari elektron ke pusat bola; F mengarah ke kanan. ini adalah hukum elektrostatika Coulomb. F = (3$?_0$ / 4??$_0$)$?^2$/r^4, dengan $?_0$ adalah konstanta, ? momen dipol (dwikutub) magnetik masing-masing batang magnet, dan r jarak dari pusat antar batang; dianggap bahwa r ? 1, dengan l adalah panjang masing-masing batang, F mengarah ke kanan.

g) Berat dan Massa

Berat sebuah benda adalah gaya gravitasional yang dilakukan oleh bumi padanya. Berat termasuk gaya, karena itu ia merupakan besaran vektor. Arah dari vektor ini adalah arah dari gaya gravitasional, yaitu menuju ke pusat bumi. Besar berat dinyatakan dengan satuan gaya, seperti misalnya pon atau newton.

Jika sebuah benda bermassa m dibiarkan jatuh bebas, percepatannya adalah percepatan gravitasi g dan gaya yang bekerja padanya adalah gaya berat W. Jika hukum Newton kedua, F = m a, diterapkan pada benda yang sedang jatuh bebas, maka diperoleh W = mg. Baik W maupun g, keduanya adalah vektor yang mengarah ke pusat bumi karena itu dapat dituliskan

$$W = mg \qquad (5)$$

dengan W dan g adalah besar vektor berat dan vektor percepatan. Untuk mencegah agar benda jangan jatuh, harus ada gaya ke atas yang besarnya sama dengan W supaya gaya netto sama dengan nol. Dalam Gambar 3a, tegangan pada tali bertindak sebagai gaya ini.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa secara eksperimen telah diketahui bahwa harga g untuk semua benda di tempat yang sama adalah sama. Dari sini diperoleh bahwa perbandingan berat antara dua benda sama dengan perbandingan massanya. Karena itu neraca kimia, yang sebetulnya merupakan alat untuk membandingkan dua gaya yang berarah ke bawah dapat juga digunakan untuk membandingkan massa. Jika suatu cuplikan garam di atas salah satu papan neraca mendorong ke bawah papan itu dengan gaya yang sama seperti yang dilakukan oleh standar massa satu-gram pada papan yang lain, maka kita tahu[?] bahwa massa garam tersebut adalah satu gram. Sering dikatakan bahwa "berat" gram itu satu gram, walaupun sesungguhnya gram adalah satuan massa, bukan satuan berat. Meskipun demikian selalu perlu dibedakan dengan jelas antara berat dan massa.

Telah kita lihat bahwa berat benda, yaitu tarikan ke bawah oleh bumi pada benda, adalah besaran vektor, sedangkan massa benda adalah besaran skalar. Hubungan kuantitatif antara berat dan massa. diberikan oleh W = mg. Karena g berbeda-beda dari satu titik ke titik lain

di bumi, maka W, yaitu berat benda bermassa m, berbeda juga untuk tempat yang berbeda. Jadi berat benda bermassa satu kilogram di tempat yang memiliki g = 9,80 m/s2 adalah 9,80 N; di tempat dengan g = 9,78 m/s^2, benda yang sama beratnya hanyalah 9,78 N. Jika berat ini diukur dengan mengamati pertambahan panjang pegas yang mengimbanginya, maka beda berat kilogram yang sama di dua tempat yang berbeda, nampak jelas dari adanya sedikit perbedaan rentangan pegas di kedua tempat tersebut. Karena itu berat benda bergantung kepada letak relatifnya terhadap pusat bumi, tidak seperti massa yang merupakan sifat intrinsik benda. Penunjukkan skala neraca pegas, yang menimbang benda yang sama di bagian bumi yang berbeda, akan memberikan hasil yang berbeda.

Dalam ruang tanpa efek gravitasi berat benda adalah nol, walaupun efek inersial, yaitu massa benda, tetap tidak berubah, sama dengan di permukaan bumi, dalam pesawat antariksa yang bebas dan pengaruh gravitasi, tidak sukar untuk mengangkat balok besi yang besar (W = 0), tetapi tetap saja antariksawan akan merasa sakit kakinya bila harus menendang balok itu (m ? 0).

Untuk mempercepat benda dalam ruang bebas-gravitasi dibutuhkan gaya, yang sama dengan yang dibutuhkan untuk mempercepatnya sepanjang bidang datar licin di permukaan bumi, karena di kedua tempat itu massanya sama. Tetapi untuk mengangkat benda yang sama melawan tarikan bumi, dibutuhkan gaya yang lebih besar di permukaan bumi daripada di tempat yang jauh dari permukaan bumi, karena beratnya berbeda.

Seringkali yang diberitahukan bukan massa benda, melainkan beratnya. Percepatan a yang dihasilkan oleh gaya F yang bekerja pada benda yang besar beratnya W dapat diperoleh dengan menggabungkan persamaan 3 dan 5. Jadi dari F = m a dan W = mg, diperoleh

m = W/g sehingga F (W/g)a ……..(6)

Besaran W/g memegang peranan seperti m dalam persamaan F = ma dan sesungguhnya tidak lain daripada massa, benda yang beratnya sebesar W. Sebagai contoh, orang yang beratnya 160 pon di tempat yang memiliki g = 32,0 kaki/s^2 memiliki massa m = W/g = (160 pon)/(32,0 kaki/s^2 5,00 slug. Beratnya di tempat lain yang memiliki g = 32,2 kaki/s^2 adalah W mg = (5,00 slugs)(32,2 kaki/s^2) = 161 pon.

h) Cara Statik Untuk Mengukur Gaya

Dalam Bagian b.1., gaya didefinisikan dengan mengukur percepatan yang ditimbulkannya pada benda standar yang ditarik oleh pegas yang terentang Cara ini disebut pengukuran gaya dengan cara dinamik. Walaupun cukup memadai untuk digunakan sebagai definisi cara ini kurang praktis untuk dipakai dalam pengukuran gaya. Metode pengukuran gaya yang lain didasarkan atas pengukuran perubahan bentuk atau ukuran benda yang dikenai gaya (pegas, misalnya) dalam keadaan tanpa percepatan. Cara ini disebut sebagai cara statik untuk mengukur gaya.

Gagasan metode statik ini menggunakan kenyataan bahwa jika suatu benda, yang dikenai beberapa gaya, tidak mengalami percepatan, maka jumlah vektor semua gaya yang bekerja padanya haruslah sama dengan nol. Ini tidak lain daripada isi hukum gerak yang pertama. Sebuah gaya tunggal yang bekerja pada benda akan menimbulkan percepatan; percepatan ini dapat dibuat sama dengan nol jika pada benda ditambahkan gaya lain yang sama besar dan berlawanan arah. Pada kenyataannya benda diusahakan tetap dalam keadaan diam. Jika kemudian kita definisikan suatu gaya sebagai gaya satuan, maka berarti kita sedang mengukur gaya. Sebagai gaya satuan dapat diambil rnisalnya, tarikan bumi pada benda standar di suatu tempat tertentu.

Alat yang biasa digunakan untuk mengukur gaya dengan cara ini adalah neraca pegas. Neraca ini terdiri dari sebuah pegas-spiral dengan penunjuk skala pada salah satu ujungnya. Gaya yang dikenakan pada

neraca akan mengubah panjang pegas. Jika benda seberat 1,00 N digantungkan di ujung pegas, pegas akan memanjang sampai tarikan pegas pada benda sama besar tetapi berlawanan arah dengan beratnya. Pada tempat skala yang ditunjuk oleh penunjuk kiys beri tanda "gaya 1,00 N." Dengan cara yang sama, pada pegas neraca dapat digantungkan benda seberat 2,00-N, 3,00-N dan seterusnya, dan kepada masing-masing kita berikan tanda skala yang sesuai di tempat yang ditunjukkan oleh penunjuk. Dengan cara inilah pegas tersebut ditera (dikalibrasi). Dianggap bahwa gaya yang bekerja pada pegas selalu sama jika penunjuk skala menunjuk tempat yang sama. Neraca yang telah ditera ini sekarang dapat digunakan bukan hanya untuk mengukur tarikan bumi pada suatu benda, tetapi juga untuk mengukur gaya lain yang tidak diketahui.

Secara diam-diam, hukum ketiga telah digunakan dalam cara statik ini, karena kita anggap bahwa gaya yang dilakukan oleh pegas pada benda sama besar, dengan gaya yang dilakukan oleh benda pada pegas. Gaya yang disebut terakhir ini yang akan diukur. Hukum pertama juga digunakan di sini, karena dianggap bahwa F sama dengan nol bila a sama dengan nol. Perlu diingatkan lagi di sini bahwa jika percepatan tidak sama dengan nol, rentangan pegas yang ditimbulkan oleh benda seberat W tidak akan sama dengan rentangan pada a = 0. Malah jika pegas dan benda W yang diikatkan itu jatuh bebas karena pengaruh gravitasi, sehingga a = g, pegas sama sekali tidak akan bertambah panjang, dan tegangannya akan sama dengan nol.

i) Beberapa Aplikasi Hukum Gerak Newton

Ada baiknya kita tuliskan beberapa langkah pemecahan soal dalam mekanika klasik dan menunjukkannya penggunaannya melalui beberapa contoh. Hukum Newton kedua menyatakan bahwa jumlah vektor semua gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan massanya dikalikan dengan percepatannya. Karena itu langkah pertama

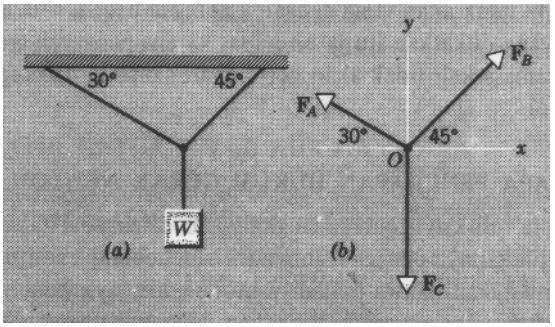
pemecahan soal adalah: (1) Kenali benda mana yang geraknya harus ditinjau menurut soal. Sumber kesalahan utama yang sering terjadi adalah kurang jelasnya mana yang telah atau seharusnya dipilih sebagai "benda." (2) Setelah dapat memilih "benda"-nya, perhatikan sekarang "lingkungannya," karena benda-benda lingkungan ini (bidang rniring, pegas, tali, bumi dan sebagainya) melakukan gaya pada benda. Kita harus mengenal sifat-sifat gaya ini. (3) Langkah berikutnya, pilihlah kerangka acuan (inersial) yang sesuai. Pilih titik asal dan arah (orientasi) sumbu-sumbu koordinat sedemikian rupa sehingga menyederhanakan perhitungan selanjutnya sebanyak mungkin. (4) Kemudian buatlah diagram-gaya untuk benda saja secara terpisah, gambarkan kerangka acuannya dan semua gaya yang bekerja pada benda. Diagram ini disebut diagram benda-bebas. (5) Akhirnya gunakan hukum Newton kedua bagi masing-masing komponen gaya dan percepatan, dalam bentuk persamaan 2.

Contoh-contoh berikut memperlihatkan metode analisis yang digunakan dalam pemakaian hukum-hukum gerak Newton. Masing-masing benda diperlakukan seolah-olah sebagai pertikel dengan massa tertentu, sehingga gaya-gaya yang bekerja padanya dapat dianggap bekerja pada satu titik. Massa tali dan katrol dianggap dapat diabaikan. Beberapa contoh yang dipilihkan nampaknya terlalu sederhana dan dibuat-buat, tetapi sesungguhnya itu adalah purwarupa (prototype) bagi banyak keadaan nyata yang menarik; dan yang lebih penting lagi, metode analisis yang digunakan ini - yang terutama harus dimengerti - dapat diterapkan untuk semua masalah mekanika klasik yang modern dan rumit termasuk pengiriman pesawat ruang angkasa ke Mars.

Sebagai Contoh:

Sebuah beban W digantungkan dengan menggunakan tali. Pandanglah simpul pada titik temu ketiga tali sebagai "benda." Benda ini tetap diam walaupun padanya bekerja tiga gaya seperti yang

ditunjukkan dalam Gambar 9b. Andaikan besar salah satu gaya diberikan, bagaimanakah kita dapat memperoleh besar gaya-gaya yang lain?



Gambar 9.
(a) Sebuah beban digantung dengan tali. (b) Diagram benda bebas yang memperlihatkan semua gaya yang bekerja pada simpul. Tali dianggap tidak bermassa.

F_A, F_B dan F_C adalah semua gaya yang bekerja pada benda. Karena benda tidak dipercepat (benda dalam keadaan diam), $F_A + F_B + F_C = 0$. Dengan memilih sumbu-x dan y seperti pada gambar, persamaan vektor di atas dapat dituliskan sebagai tiga persamaan skalar, yaitu, menurut Persamaan 2.

$$F_{Ax} + F_{Bx} = 0,$$
$$F_{Ay} + F_{By} + F_{Cy} = 0,$$

Persamaan ketiga, untuk sumbu-z, adalah

$$F_{Az} = F_{Bz} = F_{Cz} = 0.$$

Karena semua vektor terletak pada bidang x-y, sehingga tidak ada komponen-z nya.

Dari gambar kita lihat bahwa

F_{Ax} = -FA cos 30^0 = -0,866FA,

F_{Ay} = FAx sin 30^0 = 0,500FA

dan

$$F_{Bx} = FBx \cos 45^0 = 0{,}707FB,$$

$$F_{By} = FB \sin 45^0 = 0{,}707FB$$

$$F_{Cy} = - F_C = -W,$$

karena tali C hanya meneruskan gaya dari ujung yang satu ke titik-temu di ujung yang lain. Substitusikan hasil-hasil ini ke dalam persamaan semula, maka kita peroleh

$$- 0{,}866\ F_A + 0{,}707F_B = 0$$

$$0{,}500F_A + 0{,}707F_B - W = 0$$

Jika diberikan salah satu harga di antara ketiga gaya ini, maka dua harga yang lain dapat diperoleh dengan memecahkan persamaan di atas. Misalnya, bila W = 100 N, kita peroleh F_A = 7 3,3 N dan F_{Bx} = 8 9,6 N.

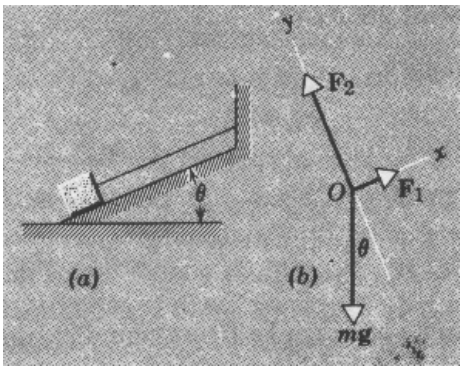
Sebagai contoh:

Misalkan kita ingin menganalisa gerak sebuah balok di atas bidang miring. (a) Kasus statik, memperlihatkan sebuah balok bermassa m yang diikat dengan tali pada dinding vertikal dan diam di atas bidang miring licin, dengan sudut kemiringan terhadap horizontal adalah 0. Gaya-gaya yang bekerja pada balok. F_{Ax} adalah gaya yang bekerja pada balok oleh tali; mg adalah gaya pada balok oleh bumi, yaitu beratnya; dan F_2 adalah gaya pada balok oleh bidang miring. F_2 disebut gaya normal dan berarah normal (tegak lurus) kepada bidang singgung (bidang kontak) karena tidak ada gaya gesekan antara kedua permukaan itu.? Jika seandainya ada gaya gesekan, maka F_2 akan mempunyai komponen yang sejajar bidang miring. Karena kita ingin menganalisa gerak balok, maka kita tinjau SEMUA gaya yang bekerja PADA balok. Balok juga melakukan gaya pada benda-benda lain di

sekelilingnya (tali, bumi, permukaan bidang miring), sesuai dengan prinsip aksi-reaksi; tetapi gaya-gaya ini tidak mempengaruhi gerak balok, karena mereka tidak bekerja pada balok.

Misalkan ? dan m diberikan. Bagaimanakah cara menentukan FAx dan F2? Karena balok tidak dipercepat, kita dapatkan

$$FAx + F2 + Mg = 0$$



Gambar 10. (a) Balok ditahan oleh tali di atas bidang miring licin. (b) Diagram benda-bebas yang menunjukkan semua gaya yang bekerja pada balok.

Sumbu-x kerangka acuan baik dipilih sepanjang bidarig miring dan sumbu-Y tegak lurus kepadanya. Dengan pilihan ini hanya satu gaya mg yang harus diuraikan menjadi komponen-komponennya. Kedua persamaan skalar untuk memecahkan persoalan diperoleh dengan menguraikan mg sepaniang sumbu-x dan y, yaitu

$$F\ 1 - mg \sin ? = 0, \text{ dan } - Mg\ COS\ ?? = 0$$

Jika m dan ? diberikan, maka F_1 dan F_2 dapat dihitung.

(b) Kasus dinamik. Misalkan kemudian tali kita potong sehingga gaya F_1, yaitu tarikan tali pada balok, menjadi hilang. Gaya resultan pada balok tidak lagi sama dengan nol, balok akan dipercepat. Berapakah percepatannya?

Dari persamaan 2, kita ketahui $F_x = m.a_x$ dan $F_y = m.a_y$. Dengan menggunakan hubungan ini dapat kita peroleh

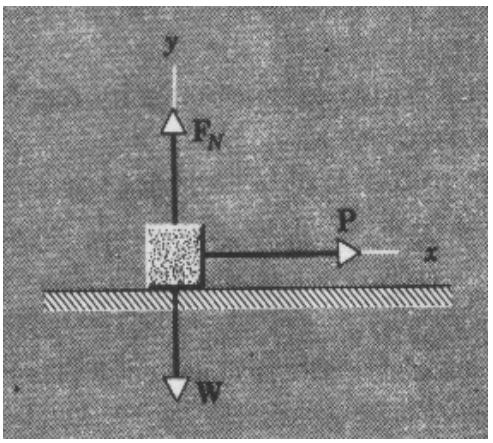
$$F_2 - mg \cos ? = m.a_y = 0,$$

Dan

$$- mg \sin ? = m.a_x$$

yang menghasilkan $a_y = 0$, $a_x = -g \sin ?$.

Percepatan balok berarah sepanjang bidang miring turun ke bawah dengan besar g sin ?.



Gambar 11. Sebuah balok ditarik sepanjang meja licin Gaya-gaya yang bekerja pada balok ditunjukkan dalam gambar.

Sebagai Contoh:

Tinjaulah sebuah balok bermassa m yang ditarik sepanjang bidang datar licin oleh gaya horizontal P. F_N adalah gaya normal yang dikerjakan pada balok oleh lantai licin dan W adalah berat balok.

(a) Jika massa balok adalah 2,0 kg, berapakah gaya normalnya?

Dari hukum kedua dengan ay = 0, kita peroleh

$$F_y = m.a_y \text{ atau } F_N - W = 0$$

Sehingga, $F_N = W = m.g = (2,0 \text{ kg})(9,8 \text{ M/S2}) = 20 \text{ N}$.

(b) Berapa gaya P yang dibutuhkan agar balok mendapat kecepatan horizontal 4,0 m/s dalam 2,0 s mulai dari keadaan diam?

Percepatan ax diperoleh dari

$$ax = \frac{v_x ? v_{x0}}{t} \frac{4{,}0\ m/s ? 0}{2{,}0s} ? 2{,}0\ m/s^2$$

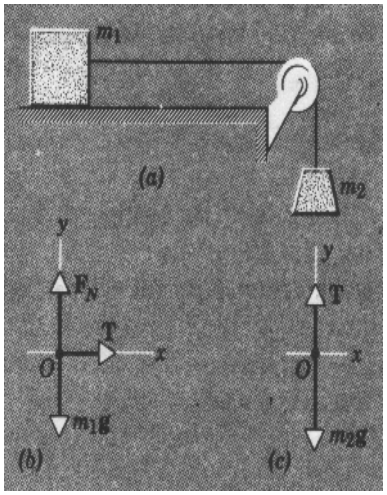
Dari hukum kedua, $F_x = m.a_x$ atau $P = m.a_x$, sehingga

$P = m.a_x = (2{,}0\ kg)(2{,}0\ m/s^2) = 4{,}0\ N.$

Sebagai Contoh:

Sebuah balok bermassa m, di atas bidang datar licin, ditarik oleh tali tidak bermassa. Pada ujung yang lain setelah melalui katrol digantungkan benda bermassa m2. Katrol dianggap licin dan tidak bermassa, fungsinya hanya untuk membelokkan arah tegangan tali di titik itu. Karena tali tidak bermassa, besar tegangan sepanjang tali sama (lihat Contoh 2). Tentukan percepatan sistem dan tegangan tali.

Misalkan kita pilih m, sebagai benda yang akan dipelajari geraknya. Gaya-gaya pada balok ini, dianggap sebagai partikel diperlihatkan dalam Gambar 7b. Tegangan tali menarik balok ke kanan; m_1g adalah tarikan bumi pada balok, berarah ke bawah dan F_N gaya vertical yang



Gambar 12 (a) Dua massa saling dihubungkan melalui sebuah tali; m_1 di atas meja licin, m_2 tergantung bebas. (b) Diagram benda-bebas untuk gaya-gaya yang bekerja pada m_1 (c) Diagram yang serupa untuk m_2.

bekerja pada balok dari bidang licin. Balok hanya mengalami percepatan dalam arah-x saja, sehingga $a_{1y} = 0$. karena itu dapat kita tuliskan

$$F_N - m_1g = 0 = m_1.a_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

dan

$$T = m_1.a_1$$

Dari persamaan ini dapat disimpulkan bahwa $F_N = m_1.g$. Kita tidak mengetahui berapa T, sehingga a, x belum dapat dihitung.

Untuk menentukan T, harus kita tinjau gerak balok m_2. Gaya-gaya yang bekerja pada m_2. Karena tali dan balok dipercepat, tidak dapat disimpulkan bahwa T sama dengan m_2g. Seandainya T sama dengan m_2g, maka resultan gaya pada m_2 sama dengan nol, keadaan ini hanya mungkin bila sistem tidak dipercepat.

Persamaan gerak untuk balok yang tergantung adalah

$$M_2g - T = m_2a_{2y} \quad \text{.....(8)}$$

Arah tegangan tali berubah pada katrol dan, karena panjang tali tetap, jelas bahwa

$$a_{2y} = a_{1x}$$

sehingga untuk percepatan sistem dapat kita nyatakan dengan a.

$$m_2g - T = m_2a, \quad \text{.....(9)}$$

dan

$$T = m_1a.$$

Keduanya menghasilkan

$$m_2g = (m_1 + m_2)a, \quad \text{.....(10)}$$

atau

$$a = \frac{m_2}{m_1 ? m_2}g,$$

dan

$$T = \frac{m_1m_2}{m_1 ? m_2}g, \quad \text{..... (11)}$$

yaitu percepatan sistem a dan tegangan tali T.

Perhatikan bahwa tegangan tali selalu kurang dari m-2g; hal ini nampak jelas dari persamaan 11 bila dituliskan dalam bentuk

$$T = m_2g\ \frac{m_1}{m_1 ? m_2}$$

Juga nampak bahwa a selalu kurang dari g, percepatan gravitasi, kecuali jika m sama dengan nol. yang berarti tidak ada balok sama sekali di atas mein dan kita peroleh a = g (dari persamaan 10). Dalam hal ini T = 0 (dari Persamaan 9).

Persamaan 10 dapat diartikan dengan sederhana sebagai berikut. Untuk sistem massa $m_1 + m_2$ gaya netto yang tidak memiliki imbangan adalah m_2g.

Karena itu dari F = ma dapat langsung diperoleh persarnaan 10.

Agar contoh ini lebih khusus lagi, misalkan m_1 = 2,0 kg dan m_2 = 1,0 kg, sehingga

$$a = \frac{m_2}{m_1 ?_2} g = 1/3 = 3{,}3 \text{ m/s}^2,$$

dan

$$T = \frac{m_2}{m_1 ?_2} g = (2/3)\ (9{,}8) \text{ kg m/s}^2 = 6{,}5 \text{ N}.$$

Sebagai Contoh:

Tinjau dua benda bermassa tidak sama, yang dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol licin dan tidak bermassa. Misalkan m_2 lebih besar daripada m_1. Tentukanlah tegangan tali dan percepatan benda-benda tersebut. Pilih arah ke atas bagi percepatan bertanda positif. Jika a adalah percepatan m_1, maka percepatan m_2 haruslah - a. Gaya-gaya yang bekerja pada m_1 dan m_2 diperlihatkan dalam Gambar 8b dengan T menyatakan tegangan tali.

Persamaan gerak untuk m_1 adalah

$$T - m_1g = m_1a$$

dan untuk m_2 adalah

$$T - m_2g = -m_2a.$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan ini, diperoleh

m2 -

$$a = \frac{m_1 ? m_2}{m_2 ? m_1} \quad \text{.....(12)}$$

dan

$$T = \frac{2m_1m_2}{m_2 ? m_1} g$$

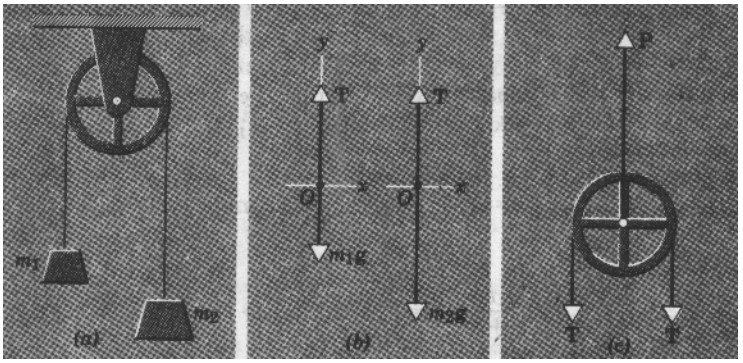
Sebagai contoh, jika m_2 = 2,0 slugs dan m_1= 1,0 slug,

$$a = (32/3{,}0) \text{ kaki/s}^2 = g/3$$

$$T = (4/3)\ (32) \text{ slug kaki/s}^2 = 43 \text{ pon.}$$

Besar gaya T selalu di antara berat benda yang bermassa m_1 (32 pon, dalam contoh di atas) dan berat benda bermassa m_2 (64 pon, dalam contoh di atas). Memang seharusnya demikian, karena untuk mempercepat m_1 ke atas, T harus lebih besar dari m_1g, dan agar m_2 dipercepat ke bawah m_2g harus lebih besar dariT. Hal khusus, jika m_1 = m_2, diperoleh a = 0 dan T = m_1g = m_2g, yaitu hasil statik, seperti yang kita harapkan.

Gambar 8c memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja pada katrol yang tidak bermassa tersebut di atas. Jika katrol diperlakukan sebagai partikel, maka semua gaya dapat dipandang bekerja pada titik pusatnya.



Gambar 12. (a) Dua benda bermassa tidak sama digantungkan dengan tali melalui sebuah katrol (mesin Atwood). (b) Diagram benda-bebas untuk m_1 dan m_2 (c) Diagram benda bebas untuk katrol katrol dianggap tidak bermassa.

P adalah tarikan ke atas yang menyangga katrol dan T adalah tarikan ke bawah pada katrol dari masing-masing bagian tali. Karena katrol tidak memiliki gerak translasi, maka

$$P = T + T = 2T$$

Seandainya kita kesampingkan anggapan katrol tidak bermassa dan kita berikan massa m_1 padanya, maka pada titik tumpu katrol harus dimasukkan pula gaya ke bawah mg. Juga akan kita lihat nanti bahwa gerak rotasi katrol menyebabkan tegangan tali pada masing-masing bagian tali tidak sama. Gesekan pada poros penumpu katrol juga mempengaruhi gerak rotasi katrol clan tegangan tali.

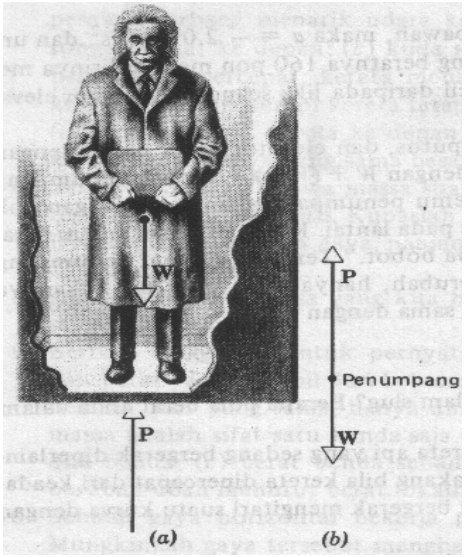
Sebagai Contoh:

Tinjau sebuah elevator yang bergerak vertikal dengan percepatan a. Kita ingin menentukan gaya yang diberikan oleh seorang penumpang pada lantai elevator.

Percepatan ke atas diambil positif dan ke bawah negatif. Jadi percepatan positif di sini berarti bahwa elevator sedang naik ke atas dengan laju makin bertambah besar atau elevator sedang turun ke bawah dengan laju makin berkurang. Sebaliknya, percepatan negatif berarti elevator sedang naik dengan laju berkurang, atau turun dengan laju bertambah.

Menurut hukum ketiga Newton, gaya yang dilakukan oleh penumpang pada lantai akan selalu sama. besar dan berlawanan arah dengan gaya yang dilakukan oleh lantai pada penumpang. Karena itu dapat kita hitung gaya aksinya ataupun gaya reaksinya. Jika gaya pada penumpang yang digunakan berarti kita memechkan gaya reaksinya, sedangkan bila gaya pada lantai yang digunakan, kita memecahkan gaya aksinya.

Berat penumpang sesungguhnya adalah W dan gaya yang bekerja padanya dari lantai, disebut P, merupakan berat semu penumpang-



Gambar 13. (a) Seorang penumpang berdiri di atas lantai elevator. (b) Diagram benda bebas untuk penumpang.

(apparent weight) dalam elevator yang dipercepat. Gaya resultan yang bekerja padanya adalah P + W. Gaya diambil positif bila berarah ke atas. Dari hukum gerak kedua, kita peroleh

$$F = ma$$

atau

$$P - W = ma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

dengan m adalah massa penumpang dan a adalah percepatannya (juga percepatan elevator).

Misalkan berat penumpang 160 pon dan percepatan 2,0 kaki/s 2 ke atas. Kita dapatkan

$$m = \frac{W}{g} = \frac{160 \text{ pon}}{32 \text{ kaki/s}^2} = 5{,}0 \text{ slug}$$

dan dari persarnaan 13,

$$P - 160 \text{ pon} = (5{,}0 \text{ slugs})(2{,}0 \text{ kaki/s}^2)$$

atau

$$P = \text{berat semu-nya} = 170 \text{ pon.}$$

Jika gaya ini kita ukur langsung dengan meminta agar penumpang tersebut berdiri di atas timbangan pegas yang menempel pada lantai elevator (atau digantungkan dari langit-langitnya), akan kita lihat bahwa penunjuk timbangan menunjukkan skala 170 pon bagi

orang yang beratnya 160 pon tersebut. Penumpang merasa bahwa ia menekan lantai dengan gaya yang lebih besar (lantai menekannya ke alas dengan gaya, yang lebih besar) dibandingkan dengan jika seandainya ia dan elevator diam. Setiap orang merasakan hal ini ketika elevator mulai bergerak ke atas dari keadaan diam.

Jika percepatannya 2,0 kaki/s2 ke bawah, maka a = 2,0 kaki/s^2 dan untuk penumpang P = 150 pon. Orang yang be ' ratnya 160 pon merasa dirinya menekan lantai dengan gaya yang lebih kecil daripada jika seandainya ia dan elevator diam.

Seandainya kabel pengikat elevator putus, dan elevator jatuh bebas dengan percepatan a = -g, maka P akan sama dengan W + (W/g)(-g) = 0. Penumpang dan lantai tidak saling menekan. Berat semu penumpang akan sama dengan nol, seperti yang ditunjukkan oleh skala pegas pada lantai. Keadaan semacam ini secara populer disebut sebagai keadaan "tanpa bobot." Tentu saja berat penumpang itu (tarikan gravitasi padanya) tidak berubah, hanya gaya yang dilakukannya pada lantai dan reaksi dari lantai padanya sama dengan nol.

c. Rangkuman

- Gaya yang merupakan besaran vektor, dapat dianggap sebagai dorongan atau tarikan; atau dari hukum Newton II gaya dapat didefinisikan sebagai aksi yang bisa menimbulkan percepatan.
- Gaya total pada sebuah benda adalah jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja padanya.
- Kecendrungan benda untuk menolak perubahan gerak disebut inersia.
- Massa adalah ukuran inersia sebuah benda.
- Berat mengacu kepada gaya gravitasi pada sebuah benda dan merupakan hasil kali antara massa m dengan percepatan gravitasi g: $W = mg$

? Hukum Newton I (hukum inersia): Jika gaya total pada sebuah benda nol, maka benda diam atau bergerak dengan kecepatan tetap.

? Hukum Newton II: Percepatan benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. ? F ? ma

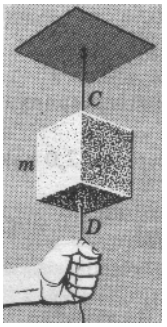
? Hukum Newton III: Jika sebuah benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut selalu memberikan gaya ke benda pertama yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan.

F_{12} ? ?F_{21}

? Metode pengukuran gaya yang didasarkan pada perubahan bentuk atau ukuran benda yang dikenai gaya (pegas, misalnya) dalam keadaan tanpa percepatan disebut pengukuran gaya secara statik.

d. Tugas

1. Berapakah massa anda dinyatakan dalam kg? Berapa pula berat anda dalam newton?
2. Sebuah balok bermassa m digantungkan dengan sebuah tali C pada llangit-langit, dan tali lain D diikatkan pada bagian bawah balok (Gambar 14). Jelaskanlah kejadian berikut: Jika tali D disentakkan ke bawah, tali itu akan putus, tetapi jika tali D ditarik perlahan-lahan, maka tali C yang akan putus.

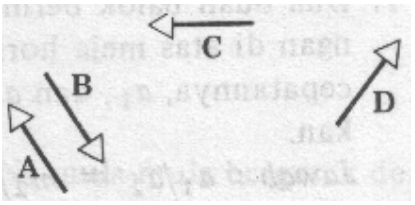


Gambar 14. Pertanyaan 2.

3. Sebutkan apakah pasanggan gaya-gaya berikut adalah contoh aksi-reaksi atau bukan: (a) bumi menarik tembok; tembok menarik bumi; (b) baling-baling pesawat terbang menarik udara ke dalam ke arah

pesawat -I udara mendorong pesawat ke depan; (c) kuda menarik kereta ke depan, sehingga kereta bergerak di percepat; kereta menarik kuda ke belakang; (d) kuda menarik kereta ke depan, tetapi kereta tetap diam; Kereta menarik kuda ke belakang; (e) kuda menarik kereta ke depan, tetapi kereta tetap diam; bumi menarik kereta dengan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah.

4. Dengan menggunakan gaya, panjang dan waktu sebagai besaran dasar, tentukanlah dimensi massa.
5. Berilah tanggapan untuk pernyataan-pernyataan berikut mengenai massa dan berat yang diambil dari beberapa kertas ujian (a) Massa dan berat adalah besaran fisis yang sama, hanya dinyatakan dalam satuan yang berbeda; (b) massa adalah sifat satu benda saja sedangkan berat dihasilkan oleh interaksi dua benda; (c) berat benda sebanding dengan massanya; (d) massa benda berubah-ubah menurut berat lokalnya.
6. Apakah percepatan benda jatuh b bebas bergantung kepada berat benda itu?
7. Dalam Gambar 15, diperlihatkan empat buah gaya yang besarnya kira-kira sama. Kombinasi tiga gaya yang bagaimana yang dapat mempertahankan benda agar tetap dalam keseimbangan translasi?



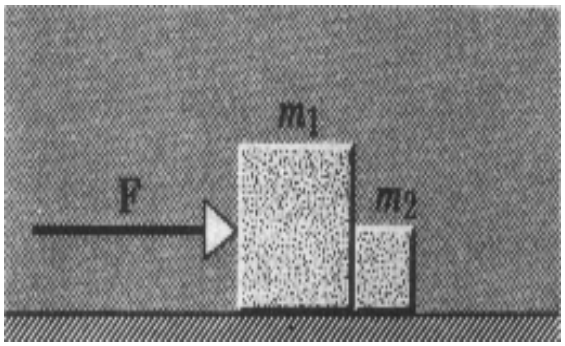
Gambar 15. Pertanyaan 7

8. Dalam pertandingan tarik tambang, tiga orang menarik tambang ke kiri di A dan tiga orang yang lain menarik ke kanan di B dengan gaya yang sama besar. Kemudian sebuah beban seberat 5,0 pon digantungkan vertikal di tengah-tengah tambang; (a) Dapatkah orang-orang tersebut menarik tali AB sehingga tali horizontal? (b) Jika tidak, jelaskanlah mengapa. Jika dapat, hitunglah gaya di A dan di B yang diperlukan untuk ini.

9. Seutas tali tak bermassa. digantungkan melalui sebuah katrol licin. Seekor monyet bergelantung pada ujung tali yang satu, dan pada ujung, yang lain digantungkan cermin yang sama beratnya dengan monyet tersebut. Dapatkah monyet tersebut menghindarkan diri dari bayangannya dalam cermin (a) dengan memanjat tali ke atas, (b) dengan menuruni tali ke bawah, (c) dengan melepaskan pegangannya pada tali?
10. Andaikan anda berdiri di atas piringan neraca pegas untuk menimbang berat badan. Bila kemudian anda melangkah di atas piringan tersebut, maka pada awal langkah pembacaan skala menunjukkan angka yang lebih kecil daripada berat badan anda, dan pada akhir langkah lebih besar. Jelaskan!

e. Tes Formatif

1. Dua buah balok saling bersinggungan di atas meja licin. Sebuah gaya horizontal dikerjakan pada salah satu balok, seperti dalam Gambar 16. (a) Jika m I = 2,0 kg, m_2 = 1,0 kg, dan F = 3,0 N, tentukanlah gaya kontak antara kedua balok tersebut. (b) Perlihatkanlah bahwa jika gaya F yang sama dikerjakan pada m_2, bukan pada m_1, maka gaya kontak antara kedua balok adalah 2,0 N, tidak sama dengan hasil hitungan. (a) Jelaskan!

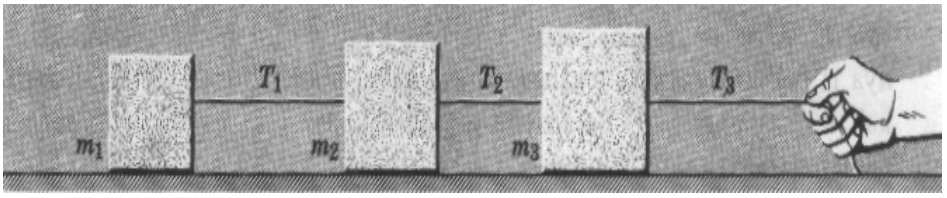


Gambar 16. Soal no. 1.

2. Sebuah mobil yang beratnya 3000 pon (13. 000 N) mula-mula bergerak dengan laju 50 mil/jam (80 km/jam). Mobil dapat dihentikan dalam jarak 200 kaki (61 m). Tentukanlah (a) gaya rem dan (b) waktu yang dibutuhkan sampai mobil berhenti. Dengan menganggap gaya ream yang bekerja adalah sama, tentukan (c) jarak, dan (d) waktu yang dibutuhkan untuk menghe ntikan mobil, bila ia mula-mula sedang bergerak 25 mil/jam (40 km/jam).
3. Sebuah elektron ditembakkan dalam arah horizontal dengan laju 1,2 $x10^{7}$ m/s ke dalam medan elektrik yang memberikan gaya vertikal konstan sebesar 4,5 x 10^{-16} N padanya. Massa elektron 9,1 x 10^{-31} kg. Jika elektron telah bergerak maju sejauh 3,0 cm horizontal, tentukanlah penyimpangan vertikal elektron (dari jalur semula) pada saat itu.
4. Sebuah elektron bergerak lurus dalam tabung hampa (vakum) dari katode ke anode, yang berjarak tepat 1,0 cm. Elektron mulai bergerak dari laju nol dan tiba di anode dengan laju 6,0 x 106 m/s. (a) Anggap percepatannya konstan, dan kemudian hitunglah gaya yang bekerja pada elektron. Ambillah massa elektron sebesar 9,1 x 10^{-31} kg. Gaya ini berasal dari sifat elektriknya. (b) Bandingkanlah gaya ini dengan gaya gravitasi pada elektron. Dengan menganggap elektron bergerak lurus, sebetulnya kita telah mengabaikan gaya gravitasi.
5. Misalkan gaya yang bekerja pada dua buah benda hanyalah gaya interaksi antara mereka sendiri. Jika kedua benda mulai dari keadaan diam, tunjukkanlah bahwa jarak yang ditempuh oleh masing-masing benda berbanding terbalik dengan massa benda tersebut.
6. Bola bermuatan dengan massa 3,0 x 10^{-4} kg digantungkan pada seutas tali. Gaya elektrik bekerja pada bola tersebut dalam arah horizontal, sehingga setelah diam tali membentuk sudut 370 dengan

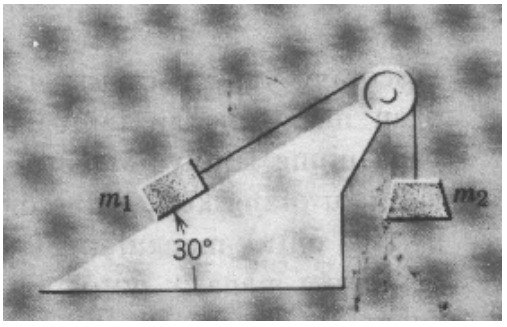
vertikal. Tentukankanlah (a) besar gaya elektrik tersebut dan (b) tegangan pada tali.

7. Tiga buah balok terletak di atas meja horizontal tanpa gesekan dan dihubungkan dengan tali seperti dalam Gambar 5-16. Balok ditarik ke kanan dengan gaya T3 = 60 N. Jika m 1 = 10 kg, m.2 = 20 kg, dan M 3 = 30 kg, tentukanlah tegangan tali T_1 dan T_2. Buatlah analogi dengan benda yang ditarik bergandengan, misalnya suatu mesin yang menarik dua mobl berurutan.



Gambar 17. Soal 7

8. Bagaimanakah cara menurunkan benda seberat 100 pon dari atap dengan menggunakan tali yang hanya mampu menahan tegangan 87 pon tanpa talinya putus?
9. Sebuah balok yang bermassa m_1 = 30 slugs terletak di atas bidang miring licin yang sudut miringnya 30^0. Balok ini dihubungkan oleh seutas tali melalui katrol kecil tanpa gesekan dengan balok kedua yang bermassa m_2 = 2,0 slug dan tergantung vertikal (Gambar18). (a) Berapakah percepatan masing-masing benda? (b) Berapakah tegangan pada tali?



Gambar 18. Soal 9.

10. Elevator yang beratnya 6000 pon ditarik ke atas oleh kabel dengan percepatan 4,0 kaki/s^2 (a) Berapakah tegangan pada kabel? (b) Berapakah tegangan itu jika elevator dipercepat ke bawah sebesar 4,0 kaki/s^2, tetapi geraknya masih ke atas?

f. Kunci Jawaban

1. Jawab: $a_1/a_2 = m_2/m_1$
2. Jawab: (a) 1,0 N.
3. Jawab: (a) 1300 pon (5400 N). (b) 5,5s (5,5 s). (c) 50 kaki (15 M). (d) 2,7 s (2,7 s).
4. Jawab: 1,5 mm
5. a. $1{,}6 \times 10^{-15}$ N b. $8{,}9 \times 10^{-30}$ N
6. S = ½ a $t^2 = \frac{1}{2}\frac{F}{m}t^2$
7. Jawab: (a) 2,2 x 10^{-3} N. (b) 3,7 x 10^{-3} N.
8. Jawab: T_1 = 10 N, T_2 = 30 N.
9. Jawab: Turunkan benda itu dengan percepatan ? 4,2 kaki/s^2
10. Jawab: (a) 3,2 kaki/s2. (b) 58 pon.

g. Lembar Kerja

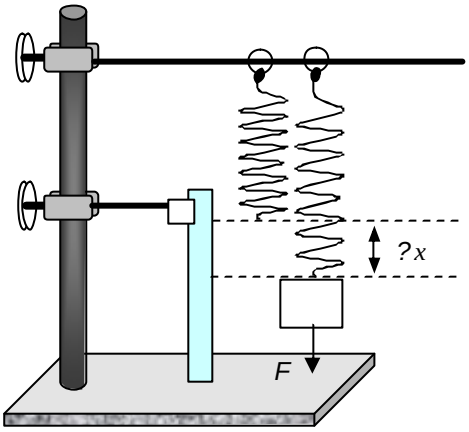
Mengukur gaya secara statis (Percobaan Hooke)

A. Bahan:

- Seperangkat alat percobaan hooke
- Kertas untuk menggambar grafik

B. Langkah kerja:

1. Susunlah seperangkat alat percobaan hooke (lihat gambar).
2. Tarik pegas tersebut, sehingga ada perubahan sebesar ?x.
3. Ulangi langkah 2 dengan berbagai beban yang makin besar. Baca skala mistar setiap pergantian massa beban.



4. Catat data pengamatan anda, ke dalam tabel berikut:

Percobaan	Pertambahan Panjang (?x) (m)	*Gaya* (*F*) ? *k* (?*x*)
1		
2		

Dengan konstanta pegas k telah diketahui.

5. Hitunglah besar gaya tarik dengan menggunkan rumus F = k ?x.
6. Hitunglah pertambahan panjang yang dialami oleh pegas, dengan mengambil selisih panjang setelah diberi beban dengan sebelum

diberi beban: $\Delta x = L - L_o$, L_o: panjang tanpa beban, L: panjang setelah diberi beban.

7. Hitung nilai perbandingan gaya tarik F dengan pertambahan panjang Δx.
8. Buatlah grafik hubungan antara F dengan Δx.

2. Kegiatan Belajar 2

a. Tujuan Kegiatan pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan belajar 2, diharapkan anda dapat:

- menerangkan pengertian tekanan dan satuannya;
- menerangkan hubungan gaya dan tekanan;
- menjelaskan hokum Pascal, membedakan jenis-jenis tekanan;
- menunjukkan pengaruh tekanan terhadap titik didih;
- menunjukkan pengaruh ketinggian lokasi terhadap tekanan udara.

b. Uraian Materi

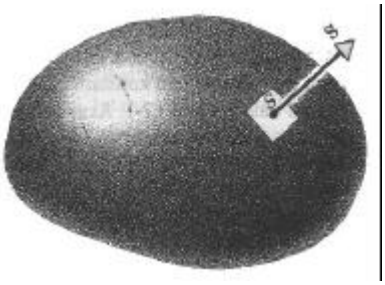
a) Tekanan dan Satuanya

Ada suatu perbedaan di dalam cara sebuah gaya permukaan reaksi pada suatu fluida dan pada suatu benda padat. Untuk suatu benda padat tidak ada batasan-batasan pada arah gaya seperti itu, tetapi untuk suatu fluida yang diam maka gaya permukaan harus selalu diarahkan tegak lurus kepada permukaan. Karena suatu fluida yang diam tidak dapat menahan sebuah gaya tangesial; lapsian-lapisan fluida tersebut akan meluncur di atas lapisan lainnya bila fluida tersebut dipengaruhi oleh sebuah gaya seperti itu. Sesungguhnya, ketakmampuan fluida untuk menolak gaya-gaya tangensial seperti itu (atau tegangan geser) yang memberikan kemampuan karakteristik kepada fluida tersebut untuk mengubah bentuknya atau untuk mengalir.

Maka, kita akan mudah menjelaskan gaya yang bereaksi pada suatu fluida dengan menentukan *tekanan p,* yang didefinisikan sebagai besarnya gaya *normal* per satuan luas permukaan. Tekanan ditransmisikan kepada batas-batas padat (solid boundaries) atau melalui bagian-bagian yang sebarang dari fluida *di dalam arah tegak lurus* kepada batas-batas atau bagian-bagian di setiap titik. Tekanan adalah suatu kuantitas skalar. Satuan SI dari tekanan adalah *pascal* (singkatan Pa, 1 Pa = 1 N/m^2).

Satuan ini dinamai menurut nama imuan Perancis Blaise Pascal (1623-1662). Satuan-satuan lain adalah bar (1 bar = 10^5 Pa), lb/in^2, atmosfer (1 atm = 14,7 lb/in^2 = 101.325 Pa), dan mmHg (760 mm Hg = 1 atm).

Suatu fluida yang mengalami tekanan akan mengerahkan sebuah gaya pada setiap permukaan yang bersentuhan dengan fluida tersebut. Tinjaulah sebuah permukaan tertutup yang mengandung suatu fluida (Gambar 1). Sebuah elemen permukaan dapat dinyatakan oleh sebuah vektor S yang besarnya menyatakan luas elemen dan yang arahnya diambil menuju keluar did alam arah normal kepada permukaan elemen. Maka gaya F yang dikerahkan oleh fluida melawan elemen permukaan ini adalah.



F = *p*S.

Gambar 19. Sebuah elemen permukaan *S* dapat dinyatakan oleh sebuah vektor S, yang besarnya sama dengan luas elemen permukaan dan arahnya normal kepada elemen permukaan.

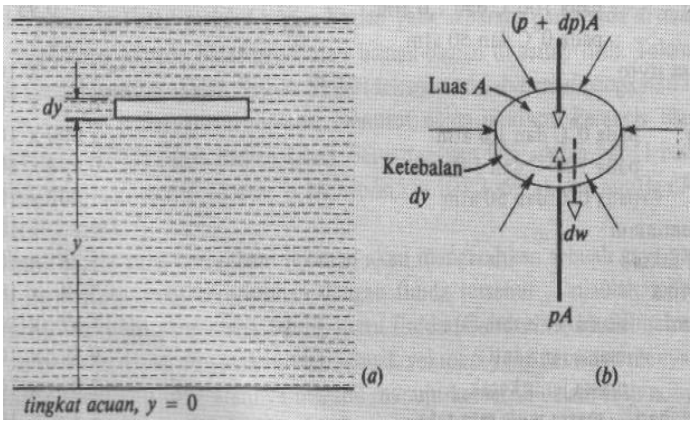
Karena F dan S mempunyai arah yang sama, maka tekanan *P* dapat dituliskan sebagai

$$p = \frac{F}{S} \quad \text{.....(14)}$$

Kita menganggap bahwa elemen luas *S* adalah cukup kecil sehingga tekanan *p,* yang didefinisikan sepeti di atas, adalah tak tergantung dari ukuran elemen *S.* tekanan tersebut sebenarnya dapat berubah dari titik ke titik pada permukaan.

b) Pengaruh Ketinggian Lokasi Terhadap Tekanan

Jika suatu fluida berada di dalam kesetimbangan, maka tiap-tiap bagian fluida berada di dalam kesetimbangan.



Gambar 20. (a) Sebuah elemen volume yang kecil dari fluida yang diam. (b) Gaya-gaya pada elemen tersebut.

Untuk cairan maka ? praktis adalah konstan cairan adalah hampir tak termampatkan, dan perbedaan permukaan jarang begitu besar, sehingga tidak perlu ditinjau sesuatu perubahan *g.* Maka, dengan mengambil *?* dan *g* sebagai konstanta-konstanta, maka kita mendapatkan

$$P_2 - p_1 = - ?g(y_2 - y_1) \quad \text{.....(15)}$$

untuk suatu cairan homogen

Jika suatu cairan mempunyai sebuah permukaan bebas *(free surface)*, maka permukaan bebas inilah yang merupakan alami dari mana jarak akan diukur. Untuk mengubah permukaan referensi kita ke permukaan puncak, maka kita mengambil y_2 sebagai elevasi permukaan, di titik mana tekanan p_2 yang beraksi pada fluida biasanya adalah tekanan yang dikerahkan oleh atmosfer bumi p_0. Kita mengambil v_1 berada di suatu permukaan dan kita menyatakan tekanan disana sebagai *p.* Maka,

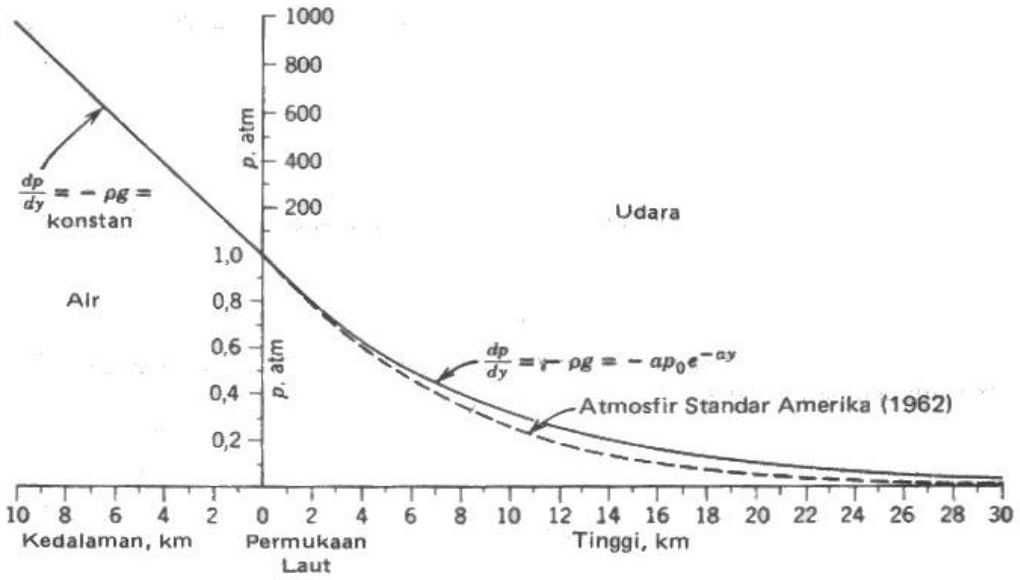
$$p_0 - p = - ?g\ (y_2 - y_1)$$

Tetapi $y_2 - y_1$ adalah kedalaman *h* dibawah permukaan dimana tekanan dalah *p* (lihat Gambar 22), sehingga

$$P = p_0 + ?gh \quad \text{.....} \quad (16)$$

Persamaan ini memperlihatkan dengan jelas bahwa tekanan adalah sama dimana titik pada ketinggian yang sama.

Kita telah melihat bahwa karena cairan adalah hampir tak termampatkan maka lapisan-lapisan yang sebelah tidak terlihat dikomporesikan oleh berat lapisan-lapisan atas yang dilapiskan di atas lapisan-lapisan bawah tersebut dan massa jenis ? praktis adalah konstan di semua permukaan. Untuk gas yang temperaturnya uniform maka massa jenis ? dari setiap lapisan adalah sebanding dengan tekan *p* di lapisan tersebut. Variasi tekanan dengan jarak di atas untuk suatu cairan. Gambar 23 memperlihatkan distribusi tekanan di dalam air dan di dalam udara.

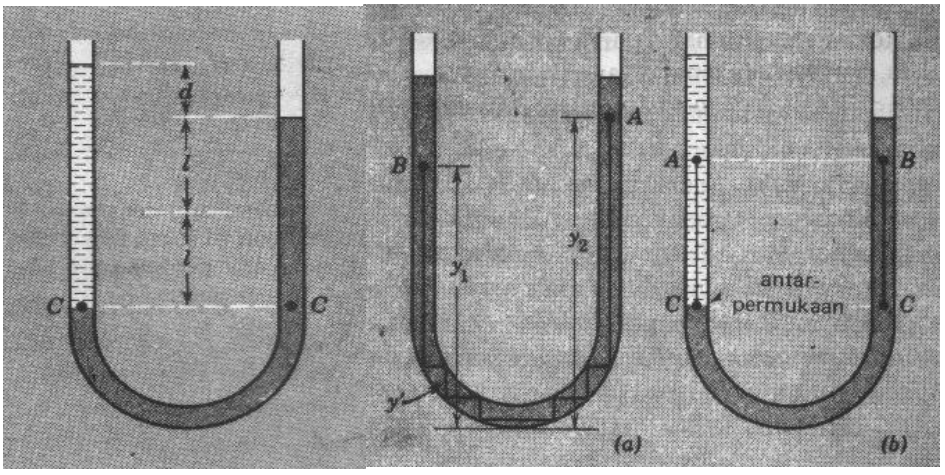


Gambar 21. Variasi tekanan adalah ketinggian di dalam udara dan dengan kedalaman di dalam air, dengan menganggap *p* = 1 atm (persis) di permukaan laut. Perhatikan bahwa skala tekanan adalah berbeda untuk ketinggian dan kedalaman. Garis tebal untuk udara dihitung berdasarkan anggapan bahwa udara mempunyai temperatur yang konstan dan bahwa *g* tidak berubah dengan ketinggian. Garis terputus-putus (Atmosfer Standar Amerika - 1962) adalah suatu perhitungan yang lebih baik di dalam mana anggapan-anggapan ini tidak dibuat.

Persamaan 16 memberikan hubungan diantara tekanan-tekanan di setiap dua titik ke dalam suatu fluida, tak peduli bagaimanapun bentuk tabung yang berisi fluida tersebut. Karena bagaimanapun bentuknya

tabung yang berisi fluida tersebut, dua titik di dalam fluida dapat dihubungkan oleh sebuah jalan yang dibuat dari langkah vertikal dan langkah horizontal. Misalnya tinjaulah titik *A* dan titik *B* di dalam cairan homogen yang diisikan di dalam tabung U dari Gambar 24. Sepanjang jalan yang berliku-liku dari *A* dan *B* terdapat perbedaan tekanan *pgy* untuk setiap segemen *y'* yang vertikal, sedangkan sepanjang setiap segmen horizontal tidak ada perubahan tekanan. Maka, perbedaan tekanan $?_B - p_A$ adalah *pg* kali jumlah aljabar segemen-segmen vertikal dari *A* dan *B,* atau $pg\ (y_2-y_1)$.

Jika tabung U tersebut berisi cairan-cairan yang berbeda yang tak tercampurkan satu sama lain, katakanlah suatu cairan yang rapat di dalam tabung sebelah kanan dan suatu cairan yang kurang rapat di dalam tabung sebelah kiri, seperti yang diperlihatkan di dalam Gambar 17-5*b,* maka tekanan tersebut dapat berbeda pada tinggi permukaan yang sama pada sisi-sisi yang berbeda. Di dalam gambar tersebut permukaan cairan adalah lebih tinggi di dalam tabung kiri daripada di dalam tabung kanan. Tekanan di *A* akan lebih besar daripada tekanan di *B.* Tekanan di *C* adalah sama pada kedua-dua sisi, tetapi tekanan turun lebih kecil dari *C* ke *A* daripada dari *C* ke *B,*

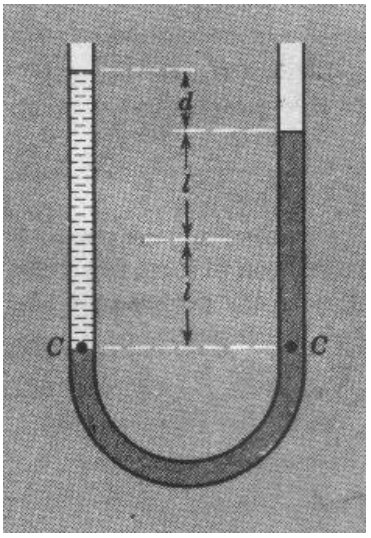


Gambar 22. Satuan luas penampang yang menghubungkan *A* dan *C* akan mempunyai berat yang lebih kecil daripada sebuah kolom yang bersangkutan yang menghubungkan *B* dan *C.*

Sebagai Contoh:

Sebuah tabung U diisi sebagian dengan air. Suatu cairan lain yang, tidak bercampur dengan air, ditungkan ke dalam sebuah sisi sampai cairan tersebut berada sejarak *d* di atas permukaan air yang ada di sisi lain, yang sementara itu telah naik sejarak *l* (Gambar 25). Carilah massa jenis cairan relatif terhadap massa jenis air.

Di dalam Gambar 25 titik-titik *C* berada pada tekanan yang sama. Maka, penurunan tekanan dari *C* ke setiap permukaan adalah sama, karena setiap permukaan berada pada tekanan atmosfer.



Gambar 23. Tabung U

Penurunan tekanan pada bagian tabung yang berisi air adalah $?_w g 2l$; faktor 2*l* berasal dari kenyataan bahwa kolom air telah naik sejarak *l* pada satu sisi dan telah jatuh sejarak *l* pada sisi lain, dari kedudukannya yang semula. Penurunan tekanan pada sisi lain adalah massa jenis dari cairan yang tak diketahui. Maka,

$$?_{wg2l} = ? g\ (d + 2l)$$

dan

$$\frac{?}{?_w} ? \frac{21}{(2l ? d)}$$

Perbandingan massa jenis sebuah zat kepada massa jenis air dinamakan *massa jenis relatif (relatif density)* (atau *berat spesifik = specific gravity*) dari zat tersebut.

c) Pengaruh Tekanan Terhadap Titik Didih

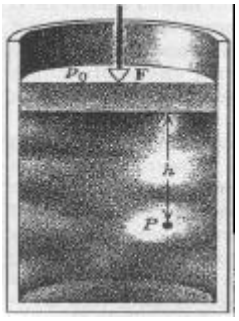
Pada diagram fase, variasi tekanan terhadap temperatur (P-T) sangat berguna untuk membandingkan fase zat yang berbeda. Pada diagram fase untuk air kurva *l-v* menunjukkan titik-titik dimana fase cair dan uap berada dalam kesetimbangan. Dengan demikian merupakan grafik titik didih terhadap tekanan. Perhatikan kurva dengan baik, pada tekanan 1 atm, titik didih adalah 100^o C dan titik didih mengecil jika tekanan juga mengecil.

d) Prinsip Pascal

Gambar 27 memperlihatkan suatu cairan di dalam sebuah silinder yang dilengkapi dengan sebuah pernghisap buat mana kita dapat memakaikan sebuah tekanan luar p_0. Tekanan p di suatu titik P yang sebarang sejarak h di bawah permukaan yang sebelah atas dari cairan tersebut adalah diberikan,

$$P = P_0 + pgh$$

Marilah kita memperbesar tekanan luar sejumlah $?P_0$ yang sebarang (yang tak perlu kecil dibandingkan kepada p_0). Karena cairan secara virtual tidaklah tertampatkan, maka massa jenis $?$ di dalam persamaan-persamaan terdahulu pada dasarnya tetap konstan selama proses tersebut. Persamaan tersebut memperlihatkan bahwa sampai sejauh ini, perubahan tekanan $?p$ di sebarang titik P adalah



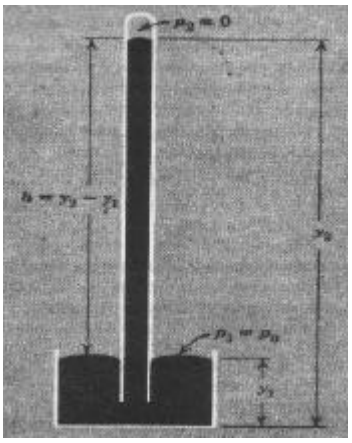
Gambar 24. Suatu fluida yang dilengkapi dengan sebuah penghisap yang dapat bergerak. Tekanan di suatu titik *P* tidak hanya dihasilkan oleh berat fluida di atas permukaan *P* tetapai juga oleh gaya yang dikerahkan oleh penghisap.

sama dengan ? p_0. Hasil ini dinyatakan oleh Blaise Pascal dan dinamakan *prinsip pascal*. Biasanya prinsip tersebut diberikan sebagai berikut. Tekanan yang dipakaikan kepada suatu fluida tertutup diteruskan tanpa berkurang besarnya kepada setiap bagian fluida dan dinding-dinding yang berisi fluida tersebut. Hasil ini adalah suatu konsekuensi yang perlu dari hukum-hukum mekanika fluida, dan bukan merupakan sebuah prinsip yang bebas.

Walaupun kita sering menganggap cairan sebagai tak termampatkan, namun ternyata cairan tersebut adalah sedikit termampatkan *(slightly compresible).* Ini berarti bahwa suatu perubahan tekanan yang dipakaikan kepada satu bagian cair-cairan tersebut. Sekali gangguan tersebut telah lanyap dan kesetimbangan telah dihasilkan, maka didapatkan bahwa prinsip Pascal berlaku Prinsip tersebut berlaku untuk gas-gas dengan sedikit komplikasi mengenai tafsiran yang disebabkan oleh perubahan volume yang besar yang dapat terjadi bila tekanan pada gas yang dibatasi diubah.

e) Pengukuran Tekanan

Evangelista Torricelli (1608-1647) membuat satu metoda untuk mengukur tekanan atmosfer dengan diciptakan olehnya barometer air raksa di dalam tahun 1643. * Barometer air raksa tersebut adalah sebuah tabung gelas yang panjang yang jelas diisi dengan air raksa dan dibalikkan di dalam sepiring air raksa, seperti di dalam Gambar 28. Ruang di atas kolom air raksa hanya mengandung uap air raksa, yang tekanannya adalah begitu kecil pada temperatur biasa sehingga tekanan tersebut dapat diabaikan besarnya. Mudah diperlihatkan bahwa tekanan atmosfer $P_0 = ?gh$



Gambar 25. Barometer Torricelli.

$$P_0 = ?_{gh}$$

Kebanyakan alat pengukur tekanan menggunakan tekanan atmosfer sebagai tingkat referensi dan mengukur perbedaan diantara tekanan sesungguhnya dan tekanan atomosfer, yang dinamakan *tekanan tolok (gauge pressure)*. Tekanan sesungguhnya di sebuah titik di dalam suatu fluida dinamakan tekananan absolut (*absolute pressure*). Tekanan tolok diberikan baik di atas maupun di bawah tekanan atmosfer.

Tekanan atmosfer di suatu titik secara numerik adalah sama dengan berat kolom udara sebanyak satu satuan luas penampang yang membentang dari titik tersebut ke puncak atmosfer. Maka, tekanan atmosfer di suatu titik, akan berkurang dengan ketinggian. Dari hari ke

hari akan ada variasi-variasi tekanan barometer akan mempunyai tinggi sebesar kira-kira 76 cm di permukaan laut, yang berubah dengan tekanan atmosfer. Suatu tekanan yang ekuivalen dengan tekanan yang dikerahkan oleh persit 76 cm air raksa pada 0^0 C di bawah gravitasi standart, g = 32,172 kaki/s^2 = 980,665 cm/s^2, dinamakan *satu atmosfer* (1 atm). Massa jenis air raksa pada temperatur ini adalah 13,5950 gram/c,^{3}. Maka, satufer adalah ekivale dengan

1 atm = (13,5950 gram/cm^3) (980,665 cm/s^2) (76,00 cm)

= 1,013 x 10^5 N/m^2 (? 1,013 x 10^5 Pa)

= 2116 pon/kaki^2 = 14.70 pon/inci^2

Seringkali tekanan-tekanan dispesifikasi dengan memberikan tinggi kolom air raksa, pada 0^o C di bawah gravitasi standart yang mengarahkan tekanan yang sama. Inilah asal mulahnya pernyataan tekanan "sentimeter air raksa (cm-Hg)" atau tekanan "inci air raksa (inci-Hg)". Akan tetapi, tekanan adalah perbandingan gaya kepada luas, dan bukannya suatu panjang.

Torricelli menjelaskan eksperimennya dengan barometer air raksa di dalam surat-suratnya di dalam tahun 1644 kepada kawannya Michelangelo Ricci di Roma. Di dalam surat-surat tersebut daia mengatakan bahwa tujuan penyelidikannya bukanlah "sekedar untuk menghasilkan suatu vakum, tetapi untuk membuat sebuah alat yang memperlihatkan mutasi udara, yang sebentar lebih berat dan rapat, dan yang sebentar lebih ringan dan jarang". Setelah mendengar eksperimen yang dilakukan oleh orang Italia tersebut, Blaise Pascal, di Perancis mengemukakan alasan bahwa jika kolom air, air raksa ditegakkan ke atas hanya karena tekanan udara, maka kolom tersebut seharusnya lebih pendek pada ketinggian yang lebih besar. Dia mencobanya pada sebuah menara gereja di Paris, tetapi menghendaki hasil-hasil yang lebih memberikan kepastian, dia menulis kepada

iparnya untuk mencoba eksperimen tersebut pada Puy de Dome sebuah gunung yang tinggi di Auvergne. Tinggi air raksa terdapat berbeda sebesar 3 inci, “yang menggairahkan kita dengan kekaguman dan keheranan”. Pascal sendiri membuat sebuah barometer dengan menggunakan anggur merah dan sebuah tabung gelas yang panjangnya 46 kaki.

Hal yang terutama pentingnya mengenai eksperimen ini pada waktu itu adalah realisasi yang dihasilkannya yakni bahwa suatu ruang waktu dapat diciptakan. Aristoteles mempercapai bahwa vakum tidak terdapat, dan sapai zamannya seorang penulis seperti Descartes pun mempunyai pandangan yang sama. Selama 2000 tahun para ahli filsafat berbicara mengenai “ketakutan” yang dimiliki alam untuk mempunyai ruang hampa-ketakukan akan *vakum (horror vacui)*. Karena ini maka alam dikatakan mencegah pembentukan vakum dengan menyita segala sesuatu yang didekatnya dan bersama-sama akan segera mengisi setiap ruang yang dikosongkan. Maka, air raksa atau anggur harus mengisi tabung yang terbalik karena “alam benci akan vakum”. Eksperimen-eksperimen Torricelli dan Pascal telah memperlihatkan bahwa ada pembatasan terhadap kemampuan alam suatu sensasi. Tujuan untuk menghasilkan vakum menjadi lebih nyata di dalam praktek melalui pengembangan pompa oleh Otto von Guericke di Jerman sekitar tahun 1650 dan oleh Robert Boyle di Inggris sekitar tahun 1660. Walaupun pompa-pompa ini secara relatif kasar, namun pompa-pompa tersebut telah menyediakan sebuah alat untuk melakukan eksperimen. Dengan sebuah pompa dan sebuah botol gelas, maka suatu ruang eksperimental dapat disediakan di dalam mana untuk mempelajari bagaimana sifat kalor, cahaya, bunyi, dan kelak sifat listrik dan magnet, dipengaruhi oleh atmosfer yang semakin renggang. Walau sekarang inipun kita tidak dapat mengeluarkan seluruh jejak gas dari sebuah tabung tertutup, namun orang-orang yang melakukan eksperimen pada abad ke tujuh belas ini telah

membebaskan ilmu pengetahuan dari momok *ketakutan* akan *vakum (horrof vacui)* dan telah mendorong usaha-usaha untuk menciptakan sistem-sistem yang sangat vakum.

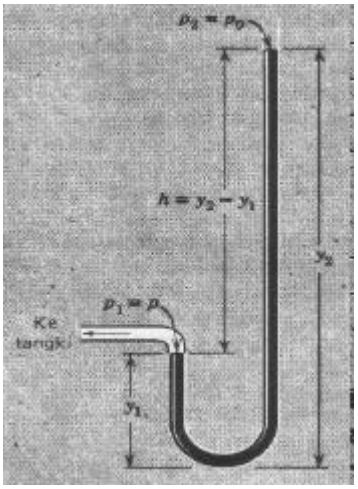
Sangat menarik halnya, didalam bebera dekade di dalam abad ke tujuh belas tidak kurang dari enam alat penting dikembangkan. Alat-alat tersebut adalah barometer, pompa udara, jam bandul, teleskop, mikroskop, dan termometer. Semuanya alat tersebut telah membangkitkan gairah keajaiban dan keingintahuan.

Manometer tabung terbuka (Gambar 17-10) mengukur tekanan tolok. Manometer tersebut terdiri dari sebuah tabung terbentuk U yang berisi cairan, sebuah ujung tabung adalah terbuka ke atmosfer dan ujung yang lainnya dihubungkan kepada sebuah sistem (tangki) yang tekanannya *p* akan kita ukur.

Kita mendapatkan persamaan sebagai berikut;

$$p\text{-}p_0 = ?gh$$

Jadi tekanana tolok, $p - p_0$, adalah sebanding dengan perbedaan tinggi dari kolom-kolom cairan di dalam tabung U. Jika tabung tersebut berisi gas di bawah tekanan tinggi, maka suatu cairan yagn rapat seperti air raksa digunakan di dalam tabung tersebut, air dapat digunakan bila yang terlibat adalah tekanan gas rendah.



Gambar 26. Manometer tabung terbuka untuk mengukur tekanan di dalam tangki.

Sebagai Contoh:

Sebuah manometer air raksa tabung terbuka (Gambar 10) dihubungkan ke sebuah tangki gas. Air raksa tersebut adalah 39,0 cm lebih tinggi di sebelah kanan daripada di sebelah kiri bila sebuah barometer yang berada di dekatnya menunjukkan pembacaan 75,0 cm Hg. Berapakah tekanan absolut gas? Nyatakanlah jawab tersebut di dalam cm Hg, atm, Pa, dan lb/inci^2.

Tekanan gas adalah tekanan di puncak kolom air raksa di sebelah kiri. Ini adalah sama seperti tekanan pada permukaan horizontal yang sama di kolom sebelah kanan. Tekanan pada permukaan ini adalah tekanan atmosfer (75,0 cm Hg) ditambah tekanan yang dikerahkan oleh kolom tambahan sebesar 39,0 cm Hg, atau (dengan menganggap nilai-nilai standart dari massa jenis air raksa dan gravitas) seluruhnya sebesar 114 cm Hg. Maka, tekanan absolut gas adalah

$$114\,\text{cm Hg} = \frac{114}{76}\,\text{atm} = 1{,}50\,\text{atm} = 1{,}52 \times 10^5\,\text{Pa} = (1{,}50)(14{,}7)\,\text{pon/inci}^2$$

$$= 22{,}1\ \text{pon/inci}^2$$

Berapakah tekanan tolok gas tersebut?

c. Rangkuman

- Tekanan adalah gaya dibagi luas penampang

  $$\text{Tekanan} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas}} \quad \text{atau} \quad P = \frac{F}{A}$$

- Tekanann adalah besaran skalar, memiliki satuan N/m^2 (Pa) dan dimensinya $[M][L]^{-1}$

- *Hukum Pascal:* Tekanan yang dipakaikan kepada suatu fuida tertutup diteruskan tanpa berkurang besarnya kepada setiap bagian fluida dan dinding-dinding yang berisi fluida tersebut.
- Tekanan atmosfer di suatu titik secara numerik adalah sama dengan berat kolom udara sebanyak satu satuan luas penampang yang membentang dari titik tersebut ke puncak atmosfer. Maka, tekanan atmosfer di suatu titik, akan berkurang dengan ketinggian.
- Pada tekanan 1 atm, titik didih air adalah 100^{o} C dan titik didih mengecil jika tekanan juga mengecil.
- Kebanyakan alat pengukur tekanan menggunakan tekanan atmosfer sebagai tingkat referensi dan mengukur perbedaan diantara tekanan sesungguhnya dan tekanan atomosfer, yang dinamakan *tekanan tolok (gauge pressure)*. Tekanan sesungguhnya di sebuah titik di dalam suatu fluida dinamakan tekananan absolut (*absolute pressure*). Tekanan tolok diberikan baik di atas maupun di bawah tekanan atmosfer.

d. Tugas

1. Buatlah suatu perkiraan mengenai massa jenis rata-rata dari badan anda. Terangkan sebuah cara di dalam mana anda dapat memperoleh suatu nilai yang teliti dengan menggunakan pemikiran yang diberikan di dalam bab ini.
2. (*a*) Dua benda (misalnya bola) mempunyai bentuk dan ukuran yang sama tetapi yang satu lebih rapat daripada yang lain. Dengan menganggap hambatan udara sama pada setiap bola, perlihatkan bahwa bila bola-bola tersebut dilepaskan pada saat bersamaan dari ketinggian yang sama maka benda yang lebih berat akan mencapai tanah lebih dulu. (*b*) Dua benda (misalnya, tetesan hujan) mempunyai bentuk dan massa jenis yang sama tetapi yang satu lebih besar

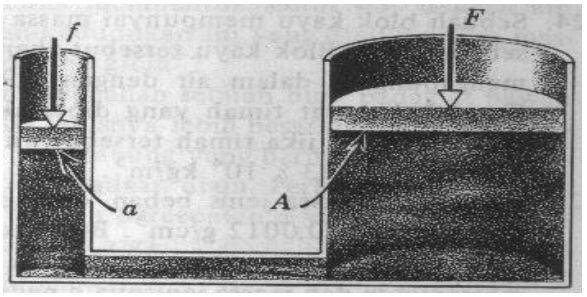
daripada yang lain. Dengan menganggap hambatan udara sebanding dengan laju benda melalui udara, benda manakah yang akan jatuh lebih cepat?

3. Dapatkah seorang pendaki gunung mendaki cukup tinggi sehingga tekanan atmosfer direduksi menjadi setengah dari nilainya di permukaan laut?
4. Bila seiris jeruk limun mula-mula ditaruh ke dalam semangkuk teh maka jeruk limun tersebut tenggelam ke alas mangkuk. Kemudian didapatkan bahwa jeruk limun tersebut terapung. Bagaimanakah keterangannya?
5. Sebuah pemberat (bob) sferis yang terbuat dari gabus terapung yang setengah terbenam di dalam semangkuk teh yang diam di bumi. Apakah gabus tersebut akan terapung atau tenggelam di dalam sebuah kapal ruang angkasa yang berlayar di ruang bebas? Pada permukaan Jupiter?

e. Tes Formatif

1. Perkirakanlah perbedaan tekanan darah hidrostatik di dalam seseorang yang tingginya 1,83 m (6,00 kaki), di antara otak dan kaki, dengan menganggap bahwa massa jenis darah adalah 1,06 x 10^3 kg/m^2 (2,06 slug/kaki^3)
2. Carilah tekanan di dalam atmosfer 16 km (10 ml) di atas permukaan laut!
3. Jelaskan hubungan tekanan dengan titik didih air!
4. Sebuah tabung U sederhana berisi air raksa. Bila setinggi 13,6 cm air ditungkan ke dalam lengan kanan, berapa tinggikah air raksa akan naik di dalam lengan kiri dari permukaannya yang semula?

5. Sebuah pengisap yang mempunyai luas penampang yang kecil *a* digunakan di dalam alat tekan hidrolik untuk mengerahkan sebuah gaya *f* yang kecil pada cairan yang tertutup. Sebuah pipa penghubung akan menghubungkannya ke sebuah pengisap yang lebih besar yang mempunyai luas penampang *A* (Gambar 27). (*a*) Berapakah gaya *F* yang akan menopang 2,0 ton pada pengisap besar.



Gambar 27. Soal 5

f. Kunci Jawaban

1. Jawab: 1,90 x 10^4 Pa (2,75 pon/inci^2).

2. Jawab: 1,6 x 10^4 Pa (2,3 pon/inci^2).

3. Jawab; Titik didih air akan mengecil bila tekanan berkurang

4. Jawab: 0,50 cm

5. Jawab: (*a*) *fA/a. (b)* 20 lb.]

g. Lembar Kerja

Tujuan: Mengukur tekanan ban

Alat dan Bahan: Pengukur tekanan ban

Langkah kerja:

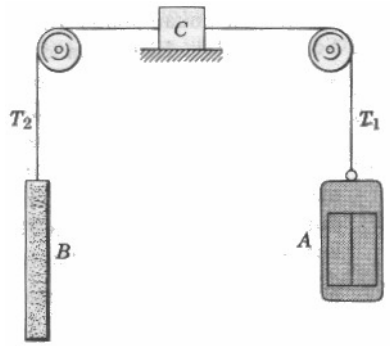
1. Ukur tekanan ban mobil.
2. Ulangi langkah 1 sampai 5 x dengan jenis ban yang berbeda.
3. Catat data pengamatan anda, kedalam tabel berikut:

Percobaan ke-	Tekanan (bar)
1	
2	
3	
4	
5	

BAB III. EVALUASI

A. Tes Tertulis

1. Seseorang bermassa 80 kg melakukan terjun payung dengan menggunakan payung bermassa 5,0 kg. la mengalami percepatan ke bawah 2,5 m/s^2. (a) Berapakah gaya ke atas pada payung oleh udara? (b) berapakah gaya ke bawah pada payung oleh orang?
2. Sebuah sistem elevator terdiri dari sangkar elevator (A), beban penyeimbang (B), mesin penghela (C), kabel dan katrol seperti diperlihatkan dalam Gam bar 5-18. Massa sangkar 1100 kg dan massa, beban penyeimbang 1000 kg. Massa kabel dan katrol dan juga gesekan diabaikan. Elevator dipercepat ke atas sebesar 2,0 m/s^2 dan beban penyeimbang dipercepat ke bawah dengan besar yang sama. (a) Berapakah harga tegangan tali T_1? (b) Berapakah gaya yang dikerjakan pada kabel oleh mesin penghela?

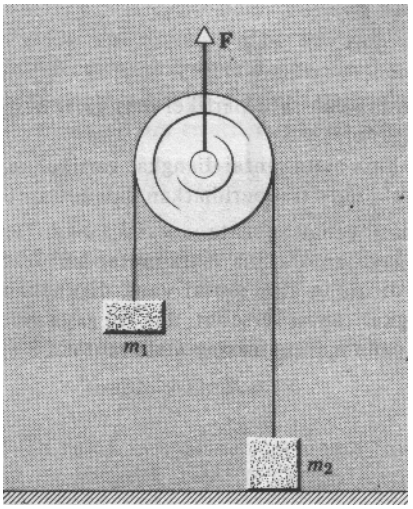


Gambar 28. Soal no. 2

3. Seseorang menarik poros katrol dengan gaya F ke atas seperti diperlihatkan dalam Gambar 19. Anggap tali dan katrol tidak bermassa dan tidak ada gesekan. Dua benda bermassa m, = 1,0 kg dan m2 = 2,0 kg

dipasang pada ujung-ujung tali setelah melalui katrol seperti diperlihatkan pada Gambar.Benda m2 terletak di atas lantai. (a) Gambarkan diagram benda bebas untuk katrol dan untuk masing-masing massa. (b) Berapakah harga gaya F terbesar sehingga m2 tetap diam di atas lantai? Berapakah tegangan tali jika gaya ke atas F adalah 100 N? (d) Dengan tegangan yang diperoleh dari pertanyaan c, berapakah percepatan m_1?

Gambar 29. Soal 23



4. Unting-unting (bandul untuk mengukur kevertikalan sesuatu) yang digantungkan dalam mobil dapat digunakan sebagai pengukur percepatan (accelerometer). (a) Turunkanlah pernyataan umum bagi hubungan antara percepatan horizontal mobil, a, dengan sudut ? yang dibentuk oleh bandul dengan vertikal (b) Tentukanlah a jika ? = 20^0. (c) Tentukan ? jika a = 5,0 kaki/s^2

B. Tes Praktek

- Tujuan : Mengukur Gaya dan Tekanan pada Pompa Hidrolik
- Alat dan Bahan:
  a. Pengukur beban/gaya penekan pompa hidrolik
  b. Pengukur diameter / luas penempang pompa Hidrolik

- **Langkah kerja :**
  1. Ukur diameter pompa hidrolik, tentukan penampangnya.
  2. Ukur gaya / beban penekan pompa hidrolik
  3. Tentukan tekanan pada pipa hidrolik
  4. Ulangi langkah 1 sampai 5 x dengan jenis ban yang berbeda.
  5. Catat data pengamatan anda , kedalam tabel berikut:

Percobaan ke-	Luas (m^2)	Gaya (N)	Tekanan (bar)
1			
2			
3			
4			
5			

KUNCI JAWABAN

Tes Tertulis

1. Jawab: (a) 6800 pon. (b) 5300 pon.
2. Jawab: (a) 620 N. (b) 580 N.
3. Jawab: (a) 1,3 x 10^4N. (b) 0,78 x 10^4 N. (c) 5,2 x 10^3 N, ke arah beban penyeimbang.
4. Jawab: (b) 39 N. (c) 50 N. (d) 40 m/s ke atas.
5. Jawab: (a) a = g tan ?. (b) 12 kaki/s. (c) 8,9'.

LEMBAR PENILAIAN TES PRAKTEK

No. Induk :
Program keahlian :
Nama Jenis Pekerjaan :

PEDOMAN PENILAIAN

No	Aspek Penilaian	Skor maks.	Skor perolehan	Keterangan
(1)	(20	(3)	(4)	(5)
I	Perencanaan ✍ Persiapan alat dan bahan ✍ Pengenalan terhadap alat ukur yang digunakan.	 2 3		
	Sub Total	5		
II	Model Susunan ✍ Merangkai alat dan bahan sesuai dengan gambar	 5		
	Sub Total	5		
III	Proses (Sistematika dan Cara Kerja) ✍ Cara melakukan pengukuran ✍ Cara mengukur diameter dengan jangka sorong ✍ Cara membaca skala tekanan pada alat ukur tekanan ✍ Cara menuliskan hasil pengukuran ✍ Cara menganalisis data	 7 7 7 7 7		
	Sub Total	35		
IV	Kualitas Hasil Kerja ✍ Rangkaian yang disusun sesuai ✍ Data-data yang diperoleh sesuai ✍ Kegiatan diselesaikan dengan waktu yang telah ditentukan	 5 20 10		
	Sub Total	35		
V	Sikap/Etos Kerja ✍ Tanggung jawab ✍ Ketelitian ✍ Inisiatif ✍ Kemandirian	 2 3 3 2		
	Sub Total	10		
VI	Laporan ✍ Sistematika penyusunan laporan ✍ Ketepatan merumuskan simpulan	 4 6		
	Sub Total	10		
	otal	100		

KRITERIA PENILAIAN

No	Aspek Penilaian	Skor perolehan	Keterangan
(1)	(2)	(3)	(4)
I	Perencanaan ✍ Persiapan alat dan bahan	- Alat dan bahan disiapkan sesuai dengan kebutuhan. - Alat dan bahan yang disiapkan tidak sesuai dengan kebutuhan.	2 1
	✍ Pengenalan terhadap alat ukur yang digunakan.	- Mengenal semua alat ukur yang digunakan. - Hanya mengenal sebagian.	3 2
II	Model Susunan ✍ Merangkai alat dan bahan sesuai dengan gambar	- Alat dan bahan yang dirangkai sesuai dengan petunjuk. - Alat dan bahan yang dirangkai tidak sesuai dengan petunjuk.	5 2
III	Proses (Sistematika dan Cara Kerja) ✍ Cara melakukan pengukuran	- Tepat sesuai dengan ketentuan. - Kurang tepat.	7 3
	✍ Cara membaca skala jangka sorong	- Pandangan tegak lurus dengan jarum penunjuk alat. - Jarak pandang dengan alat kurang pas.	7 3
	✍ Cara membaca skala alat ukur tekanan	- Pandangan tegak lurus dengan skala penunjuk. - Pandangan tidak tegak lurus dengan skala penunjuk.	7 4
	✍ Cara menuliskan hasil pengukuran	- Sesuai dengan besaran yang diukur dan stauannya. - Tidak sesuai dengan besaran yang diukur dan satuannya.	7 3
	✍ Cara menganalisis data	- Menggunakan metode grafik - Dihitung langsung tanpa grafik.	7 5

IV	Kualitas Hasil Kerja ✍ Rangkaian yang disusun sesuai ✍ Data-data yang diperoleh sesuai ✍ Kegiatan diselesaikan dengan waktu yang telah ditentukan	- Rapi dan mudah diamati - Tidak rapi - Sesuai dengan besaran yang diukur. - Tidak sesuai dengan besaran yang diukur. - Menyelesaikan pekerjaan lebih cepat dari waktu yang ditentukan. - Menyelesaikan pekerjaan tepat waktu. - Menyelesaikan pekerjaan melebihi waktu yang ditentukan.	5 2 20 5 8 10 2
V	Sikap/Etos Kerja ✍ Tanggung jawab ✍ Ketelitian ✍ Inisiatif ✍ Kemandirian	- Merapikan kembali alat dan bahan yang telah digunakan. - Tidak merapikan alat setelah melaksanakan kegiatan. - Tidak banyak melakukan kesalahan kerja. - Banyak melakukan kesalahan kerja - Memiliki inisiatif dalam bekerja. - Kurang/tidak memiliki inisiatif. - Bekerja tanpa banyak diperintah - Baru bekerja setelah diperintah.	2 1 3 1 3 1 2 1
VI	Laporan ✍ Sistematika penyusunan laporan ✍ Ketepatan merumuskan simpulan	- laporan disusun sesuai dengan sistematika. - Laporan disusun tanpa sistematika. - Simpulan sesuai dengan tujuan. - Simpulan tidak sesuai	4 2 6 3

BAB IV. PENUTUP

Setelah menyelesaikan modul ini, anda berhak untuk mengikuti tes praktik untuk menguji kompetensi yang telah anda pelajari. Apabila anda dinyatakan memenuhi syarat kelulusan dari hasil evaluasi dalam modul ini, maka anda berhak untuk melanjutkan ke topik/modul berikutnya.

Mintalah pada guru/instruktur untuk melakukan uji kompetensi dengan system penilaian yang dilakukan langsung oleh pihak dunia industri atau asosiasi profesi yang berkompeten apabila anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi dari setiap modul, maka hasil yang berupa nilai dari guru/instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh pihak industri atau asosiasi profesi. Kemudian selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standar pemenuhan kompetensi tertentu dan bila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh dunia industri atau asosiasi profesi.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1996. *Soal-soal Evaluasi Belajar Tahap Akhir Nasional (Ebtanas)* sampai dengan tahun 1999.

Fishbanr, P.M., et all,1993. *Physics for Scientists and Enggineers Extended Version,* New Jersey, Prentice Hall, Inc.

Giancoli, Doglas C., 2001. *Fisika Jilid 1 (Terjemahan),* Jakarta, Penerbit Erlangga.

Halliday dan Resnick,1993. *Fisika Jilid I (Terjemahan),* Jakarta, Penerbit Erlangga.

Hewitt,P.G., 1989. *Conceptual Physics,* California: Addison Wesley Publishing Company, Inc.

Kanginan, M.,1999. *Fisika SMU Kelas 1 Jilid 1A Caturwulan 1,* Jakarta, Penerbit Erlangga.

Stanford,A.L. dan Tonner,J.M., 1990. *Physics for Students of Science and Engineering,* Orlando: Academic Press, Inc.

Serway, R.A., 1999. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics,* New York: Saunders College Publishing.

Tipler, P.A., 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I (terjemahan),* Jakarta: Penertbit Erlangga.