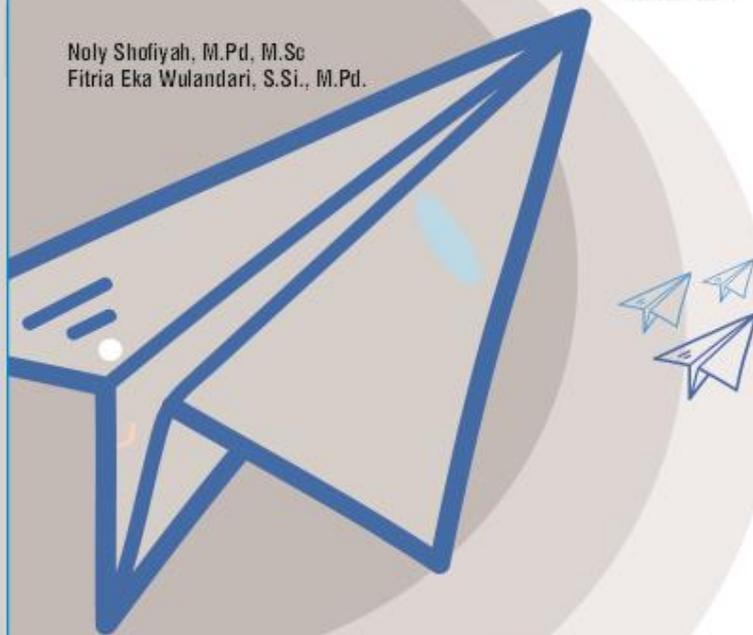


Noly Shofiyah, M.Pd, M.Sc
Fitria Eka Wulandari, S.Si., M.Pd.



GERAK *dan* PERUBAHAN

GERAK *dan* PERUBAHAN
Noly Shofiyah, M.Pd, M.Sc
Fitria Eka Wulandari, S.Si., M.Pd.

ISBN 978-623-6081-15-0 (Jil. 1)



UMSIDA Press
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Mojopahid No. 666B
Sidoarjo, Jawa Timur



**BUKU AJAR
GERAK DAN PERUBAHAN
JILID 1**

Oleh
Noly Shofiyah, M.Pd., M.Sc.
Fitria Eka Wulandari, S.Si, M.Pd



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2020**

BUKU AJAR
GERAK DAN PERUBAHAN

Penulis:

Noly Shofiyah, M.Pd, M.Sc
Fitria Eka Wulandari, S.Si, M.Pd

ISBN :

978-623-6081-15-0

Editor:

Dr. Septi Budi Sartika, M.Pd

Design Sampul dan Tata Letak:

Mochammad Nashrullah, S.Pd.
Amy Yoga Prajati, S.Kom.

Penerbit:

UMSIDA Press

Anggota IKAPI No. 218/Anggota Luar Biasa/JTI/2019

Anggota APPTI No. 002 0181 09 2017

Redaksi

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Mojopahit No 666B
Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan Pertama, September 2020

©Hak Cipta dilindungi undang undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dengan sengaja, tanpa ijin
tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya Buku Ajar “Gerak dan Perubahan” dapat diselesaikan dengan baik dan tanpa halangan yang berarti. Shalawat dan salam selalu kami sampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.

Tim penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Hidayatulloh, M.Si., Rektor UMSIDA yang memberikan kesempatan luas kepada tim penulis untuk berkarya dan menyumbangkan pikiran sehingga buku ajar ini terselesaikan.
2. Dr. Akhtim Wahyuni, M.Ag., Dekan Fakultas Psikologi dan Ilmu Pendidikan yang memberikan arahan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan buku ajar Gerak dan Perubahan ini.
3. Rekan-rekan dosen pengampu Mata Kuliah Gerak dan Perubahan di FPIP UMSIDA yang telah berbagi pengalaman dalam mengampu mata kuliah tersebut.

Saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk mewujudkan buku ajar Gerak dan Perubahan yang lebih baik dan tentunya sesuai dengan amanat peraturan yang berlaku. Terimakasih.

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I KINEMATIKA PARTIKEL	1
Pengertian Gerak Lurus	2
Besaran-besaran Gerak Lurus.....	4
Analisis Grafik Gerak Lurus Beraturan.....	8
Gerak Lurus Berubah Beraturan.....	14
Gerak Vertikal.....	19
BAB II DINAMIKA PARTIKEL.....	28
Gaya dan Interaksinya	29
Jenis-jenis Gaya	30
Hukum-Hukum Newton.....	38
Aplikasi Hukum Newton pada Permainan.....	43
Dinamika Gerak Melingkar	54
Aplikasi Dinamika Gerak Melingkar.....	55
BAB III SISTEM GERAK PADA HEWAN	68
Penggerak membutuhkan energi untuk mengatasi gesekan dan gravitasi	70
Fungsi kerangka dalam mendukung pergerakan, dan perlindungan	77
Kerangka Vertebrata	83
Tulang	87
Kontraksi dan Gerakan Otot.....	94
DAFTAR PUSTAKA	105
BIODATA PENULIS	

**BATANG TUBUH DAN
SUB-CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH**

BAB	Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah
BAB I KINEMATIKA PARTIKEL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan besaran-besaran dalam gerak lurus 2. Menjelaskan karakteristik GLB dan GLBB 3. Menyelidiki karakteristik GLB dan GLBB menggunakan ticker timer 4. Mengaplikasikan konsep GLB dan GLBB 5. Menjelaskan karakteristik GMB 6. Mengaplikasikan konsep GMB
BAB II DINAMIKA PARTIKEL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mendeskripsikan Hukum I, II, III Newton 2. Menerapkan Hukum Newton untuk menyelesaikan persoalan dalam kehidupan sehari-hari
BAB III SISTEM GERAK MANUSIA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengidentifikasi Rangka dan fungsinya 2. Mengidentifikasi Sendi dan fungsinya 3. Mengidentifikasi Otot dan fungsinya 4. Menjelaskan Gangguan dan Kelainan pada Sistem Gerak Manusia 5. Menjelaskan Upaya Menjaga Kesehatan Sistem Gerak pada Manusia
BAB IV SISTEM GERAK PADA HEWAN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan sistem gerak Hewan dalam Air 2. Menjelaskan sistem Gerak Hewan di Udara 3. Menjelaskan sistem Gerak Hewan di Darat

BAB V SISTEM GERAK PADA TUMBUHAN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan Gerak Endonom 2. Mengidentifikasi gerak endonom dalam kehidupan sehari-hari 3. Menjelaskan Gerak Higroskopis 4. Mengidentifikasi gerak Higroskopis dalam kehidupan sehari-hari 5. Menjelaskan Gerak Esinom 6. Mengidentifikasi Gerak Esinom dalam kehidupan sehari-hari
BAB VI SIFAT ZAT DAN PERUBAHANNYA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mendeskripsikan karakteristik dari sifat kimia dan sifat fisika suatu benda 2. Mendeskripsikan karakteristik dari perubahan fisika dan perubahan kimia 3. mengidentifikasi perubahan fisika dan perubahan kimia melalui percobaan
BAB VII PENUTUP	Simpulan dan saran

BAB I

KINEMATIKA PARTIKEL

Suatu benda dikatakan bergerak apabila kedudukannya senantiasa berubah terhadap suatu titik acuan tertentu. Misalkan kamu sedang duduk di dalam kereta yang sedang bergerak meninggalkan stasiun. Apabila stasiun ditetapkan sebagai titik acuan, maka kamu dikatakan bergerak terhadap stasiun. Hal ini karena setiap saat kedudukanmu berubah terhadap stasiun.

Pada Bab ini, kita akan membatasi pembahasan kita pada cabang mekanika yang disebut dengan “kinematika”. Kinematika partikel merupakan cabang mekanika yang membahas tentang gerak suatu partikel tanpa disertai pembahasan penyebab partikel tersebut bergerak. Dalam hal ini, partikel atau juga disebut sebagai benda titik merupakan benda yang ukurannya dapat diabaikan terhadap skala ukuran lain yang ada dalam permasalahan. Sebagai contoh ketika kita meninjau gerak benda langit terhadap bumi dapat dianggap sebagai benda titik karena ukurannya jauh lebih kecil daripada ukuran orbitnya. Gerak suatu benda yang bukan titik dapat juga dianggap sebagai gerak benda titik jika benda tersebut secara keseluruhan hanya bergerak translasi.

Indikator

1. Menjelaskan Pengertian Gerak Lurus
2. Menjelaskan besaran-besaran pada gerak lurus
3. Menginterpretasikan Grafik GLB dan GLBB
4. Menjelaskan Gerak Vertikal

Materi Pembelajaran

1. Pengertian Gerak Lurus



Gambar 1.1. Orang berada dalam kereta api

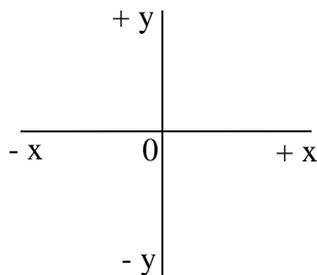
Perhatikan Gambar 1.1. Kereta api sedang melintas di depan petugas. Penumpang yang duduk dalam kereta tersebut, menurut petugas bergerak atau diam? Jawabannya adalah: bergerak sekaligus diam! Kok aneh, seseorang bisa dalam keadaan diam dan bergerak secara bersamaan. Dapatkah kamu memberikan penjelasan?

Dari waktu ke waktu petugas yang berada di pinggir rel akan tertinggal di belakang kereta api. Artinya posisi petugas dan orang yang di dalam kereta api berubah setiap saat seiring dengan gerakan kereta api menjauhi kamu.

Suatu benda dikatakan bergerak apabila posisinya setiap saat berubah terhadap suatu titik acuan tertentu.

Posisi atau kedudukan diartikan sebagai letak suatu titik yang diukur berdasarkan letak titik acuan. Apakah orang di dalam kereta bergerak? Ya, apabila titik acuannya adalah petugas yang sedang berdiri di pinggir rel. Orang di dalam kereta api dikatakan diam apabila menggunakan acuan kereta api karena selama perjalanan posisi orang dan kereta api tidak berubah.

Jadi, suatu benda dapat bergerak sekaligus diam tergantung titik acuan yang kita ambil. Dalam Fisika gerak bersifat relatif, bergantung pada titik acuan yang dipilih. Titik acuan dalam Fisika sering dinyatakan dalam sumbu koordinat seperti pada Gambar 1.2.



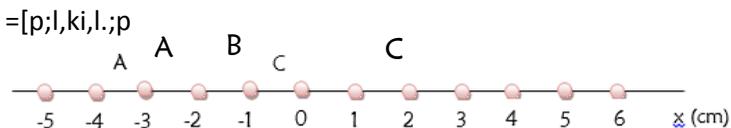
Gambar 1.2. Pasangan standar sumbu koordinat xy (Giancoli, 2001)

Benda-benda yang diletakkan di kanan titik asal (0) pada sumbu x memiliki koordinat x yang bernilai positif dan benda yang terletak di kiri titik asal (0) memiliki koordinat x yang bernilai negatif. Tanda negatif maupun positif yang digunakan

untuk menjelaskan kedudukan benda sebenarnya menunjukkan arah.

Untuk memudahkan pemahaman tentang kedudukan dan titik acuan perhatikan Gambar 1.3. Diandaikan titik O ditetapkan sebagai titik acuan. Titik A berada 3 cm di sebelah kanan O. Ini berarti kedudukan A adalah +3 cm. Titik D berada 2 cm di sebelah kiri O sehingga kedudukan D adalah -2 cm. Jika titik B digunakan sebagai titik acuan, maka kedudukan A adalah -1 cm dan kedudukan D adalah 6 cm.

O

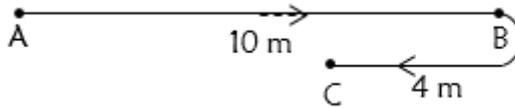


Gambar 1.3 Kedudukan Benda pada Koordinat x

2. Besaran-besaran Gerak Lurus

Jarak dan Perpindahan

Perhatikan ada **perbedaan antara jarak dan perpindahan**. Salah satunya adalah skalar, yang lain adalah vektor. Gambar 1.4 menunjukkan garis lurus AB yang panjangnya 10 m. Santi berlari sepanjang garis AB. Jarak yang ditempuh Santi adalah 10 m. Perpindahan yang dilakukan Santi dari titik A ke titik B adalah 10 m ke kanan. Apabila suatu saat Santi berbalik arah dan berhenti di titik C sejauh 4 m, apakah jarak dan perpindahan yang ditempuh Santi sama? Jawabannya adalah jarak yang ditempuh Santi 14 m, sedangkan perpindahan Santi adalah 6 m.



Gambar 1.4 Lintasan yang dilalui Santi

Berdasarkan contoh pada gambar 1.4, maka dapat diambil sebuah definisi yaitu panjang lintasan yang ditempuh disebut jarak, sedangkan perpindahan diartikan sebagai perubahan posisi benda dari keadaan awal ke keadaan akhirnya. Jarak tidak mempersoalkan ke arah mana benda bergerak, sebaliknya perpindahan tidak mempersoalkan bagaimana lintasan suatu benda yang bergerak. Perpindahan hanya mempersoalkan kedudukan, awal dan akhir benda itu. Mungkinkah jarak yang ditempuh oleh suatu benda sama dengan besar perpindahannya?

Untuk benda yang bergerak ke satu arah tertentu, maka jarak yang ditempuh benda sama dengan besar perpindahannya. Misalnya bila benda bergerak lurus ke kanan sejauh 5 m, baik jarak maupun besar perpindahannya sama-sama 5 m.

Kelajuan dan Kecepatan

Istilah kelajuan dan kecepatan sering disamaartikan. Misalnya, saat mengendarai sepeda motor untuk menyatakan cepatnya gerak motor istilah apa yang kita pakai? Kelajuan atau kecepatan?

Kedua istilah tersebut memiliki arti yang berbeda. Kelajuan benda merupakan hasil bagi antara jarak tempuh benda dan selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh

jarak tersebut, tanpa memperhatikan arah perpindahannya sehingga merupakan besaran skalar.

Kecepatan ditentukan oleh perpindahan benda dan selang waktu yang dibutuhkan untuk berpindah, dengan memperhatikan arah perpindahan sehingga merupakan besaran vektor.

Kelajuan Rata-rata dan Kecepatan Rata-rata

Pemahkah kamu melakukan perjalanan dengan kereta api dari Surabaya ke Malang? Diketahui jarak Surabaya-Malang adalah 100 km dan dapat ditempuh oleh kereta api dalam waktu 2 jam. Dapat dikatakan bahwa laju rata-rata kereta api adalah $100 \text{ km} : 2 \text{ jam} = 50 \text{ km/jam}$. Kelajuan kereta api setiap saat tidak selalu 50 km/jam, mungkin pemah lebih cepat ataupun lebih lambat. Oleh karena perubahan kelajuan itulah diperlukan konsep mengenai kelajuan rata-rata.

Kelajuan rata-rata diperoleh dari jarak yang ditempuh dibagi dengan selang waktu.

$$\text{kelajuan rata-rata} = \frac{\text{jarak yang ditempuh}}{\text{waktu tempuh}}$$

$$\bar{v} = \frac{x}{t}$$

Keterangan: \bar{v} = kelajuan rata-rata (m/s)

x = jarak tempuh (meter)

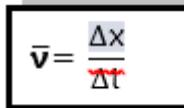
t = waktu tempuh (sekon)

Berbeda dengan kelajuan, kecepatan merupakan besaran vector sehingga selain mempunyai nilai, kecepatan juga mempunyai arah.

Besarnya kecepatan rata-rata dari suatu benda bergantung pada perpindahan dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perpindahan tersebut.

$$\text{kecepatan rata-rata} = \frac{\Delta \text{ perpindahan}}{\text{waktu yang diperlukan}}$$

Jika benda bergerak sepanjang sumbu x dan posisinya dinyatakan dengan koordinat x, persamaan kecepatan rata-rata dapat ditulis:


$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Keterangan:

\bar{v} = kecepatan rata-rata (m/s)

$\Delta x = x_{\text{akhir}} - x_{\text{awal}}$ = perpindahan (m)

$\Delta t = t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}$ = perubahan waktu (t)

Kelajuan Sesaat dan Kecepatan Sesaat

Ketika mengendarai kendaraan bermotor, pernahkah kamu memperhatikan *speedometer* pada kendaraan tersebut? Selama perjalanan, speedometer yang berfungsi dengan baik akan menunjukkan angka-angka yang berbeda. Speedometer merupakan alat penunjuk kelajuan kendaraan. Kelajuan apakah yang ditunjukkan alat tersebut?

Kecepatan sesaat dan kelajuan sesaat merupakan besaran-besaran yang digunakan untuk menyatakan

kecepatan dan kelajuan kendaraan pada saat tertentu. Pada kendaraan bermotor, kelajuan sesaat dapat diketahui dengan melihat penunjukkan jarum pada speedometer. Anda dapat melihat dengan jelas posisi jarum pada saat kendaraan sedang bergerak. Perubahan kelajuan sesaat akan memberikan perubahan posisi jarum penunjuk pada *speedometer*.

Kelajuan sesaat adalah kelajuan pada suatu waktu tertentu. Untuk menghitungnya digunakan limit kelajuan rata-rata dengan selang waktu sangat kecil atau mendekati nol. Cara menghitung kelajuan sesaat:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Untuk menentukan kecepatan sesaat, persamaan yang sama juga digunakan, namun harus disertai dengan arah gerak benda.

3. Analisis Grafik Gerak Lurus Beraturan

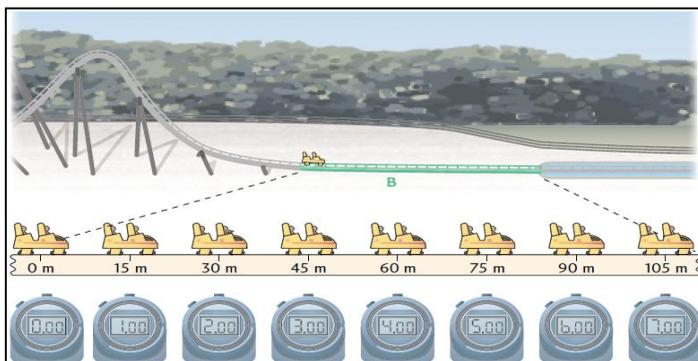
Sekarang kita akan belajar cara membuat dan menganalisis grafik gerak lurus beraturan (GLB). Suatu benda yang bergerak pada lintasan garis lurus dan lajunya tetap setiap saat, atau dapat dikatakan bahwa “kecepatan benda selalu tetap”, maka benda tersebut dikatakan bergerak lurus beraturan. Maksud dari kecepatan tetap adalah benda menempuh jarak yang sama untuk selang waktu yang sama.

Grafik adalah salah satu alat perdagangan untuk fisikawan. Seorang fisikawan membangun pemahaman menggunakan grafik. Dari grafik, kita tidak hanya akan mendapatkan informasi tentang karakteristik gerakan, tetapi juga tentang kecepatan, bahkan akselerasi.

Table 1	
Times (s)	Position (m)
0	0
1.0	15
2.0	30
3.0	45
4.0	60
5.0	75
6.0	90
7.0	105

Grafik Jarak-Waktu GLB

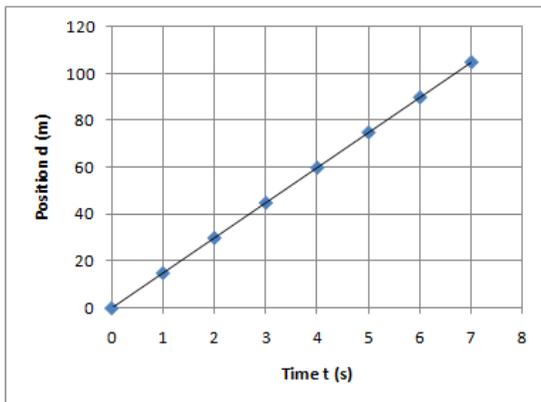
Pertimbangkan data dari bagian gerakan roller coaster, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5. Bayangkan pita pengukur terbentang di sepanjang lintasan dari titik yang ditandai. Catat posisi dari titik itu pada setiap interval 1.0 detik, dengan hasilnya dan aturlah ke dalam Tabel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Sumber: Nowikow & Heimbecker, 2001:14.

Gambar 1.5 Bagian roller coaster yang bergerak dengan konstan

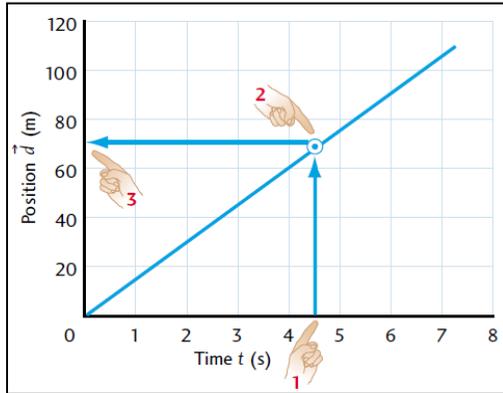
Data lebih mudah divisualisasikan jika data diplot pada grafik. Besaran yang dimanipulasi adalah interval waktu dan biasanya ditetapkan ke sumbu X. Kemudian plot titik-titik yang ditunjukkan oleh masing-masing pasangan pengukuran, dengan waktu di sepanjang sumbu X dan perpindahan di sepanjang sumbu Y, seperti pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6. Grafik posisi vs waktu dari sebagian gerak roller coaster.

Analisis Garis Lurus pada Grafik d-t

Kita memulai analisis kita dengan hanya membaca grafik. Ikuti urutan yang ditunjukkan pada Gambar 1.6 untuk pergi dari $t = 4,6$ s hingga garis grafik dan kemudian menyeberang ke 70 m untuk posisi.

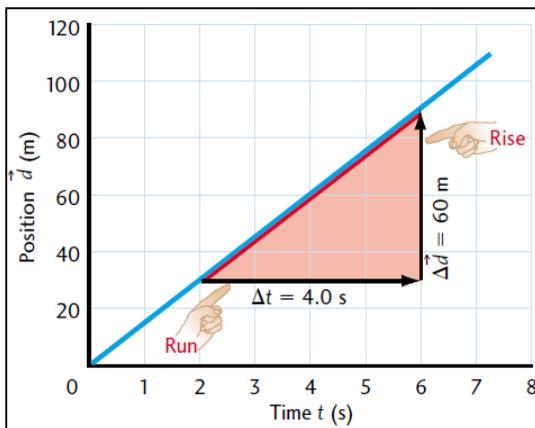


Gambar 1.6 Membaca nilai pada sumbu x dan y

Itu adalah perpindahan dari asal yang dipilih saat ini. Dengan metode ini, Anda menemukan perpindahan atau posisi sesaat. Grafik akan menunjukkan kepada Anda di mana objek berada pada waktu tertentu.

Untuk bagian roller coaster yang kita pilih, grafik yang dihasilkan hanyalah garis lurus dengan kemiringan konstan. Oleh karena itu, kita dapat menghitung kemiringan di mana saja di garis dan mendapatkan nilai yang sama. Prosedur untuk menghitung kemiringan ditunjukkan pada Gambar 1.7. Kemiringan diberikan dengan rumus:

$$\text{slope} = \frac{\text{rise}}{\text{run}}$$



Gambar 1.7 Menghitung nilai kemiringan dari grafik d-t

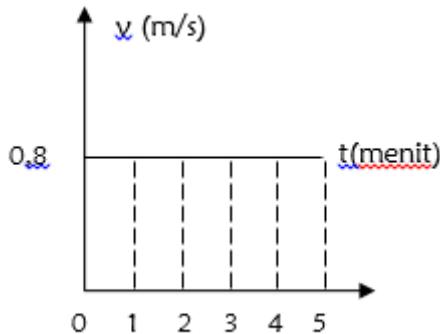
Untuk menjalankan, pilih interval waktu yang besar, lebih disukai yang merupakan bilangan bulat, atau setidaknya satu yang akan mudah dibagi. Pada Gambar 1.7 kita memulai interval pada $t_1 = 2.0$ dt dan memperluasnya ke $t_2 = 6.0$ dt. Nilai perpindahan saat itu adalah $d_1 = 30$ m dan $d_2 = 90$ m.

Jadi jalannya adalah $\Delta t = t_2 - t_1 = 6.0 \text{ s} - 2.0 \text{ s} = 4.0 \text{ s}$ dan kenaikannya adalah $\Delta d = d_2 - d_1 = 90 \text{ m} - 30 \text{ m} = 60 \text{ m}$.

$$\text{Kemiringannya adalah } slope = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{60 \text{ m}}{4.0 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$$

Perhatikan bahwa nilai yang diperoleh untuk kemiringan memiliki satuan m/s, yaitu satuan untuk **kecepatan**. Dengan demikian, dengan menggunakan salah satu dari tiga kemungkinan manipulasi grafik plus analisis unit, Kamu telah memperoleh pemahaman yang lebih dalam tentang acara tersebut. Dari grafik, kamu dapat menentukan bahwa mobil bergerak dengan kecepatan konstan 15 m/s.

Grafik hubungan antara kecepatan terhadap waktu pada gerak lurus beraturan ditunjukkan pada Gambar 1.8. Grafik tersebut berbentuk garis lurus yang sejajar dengan sumbu t. Ini berarti, ketika waktu t bertambah kecepataannya selalu tetap. Dengan kata lain, jarak yang ditempuh benda sebanding dengan waktu t.



Gambar 1.8 Grafik kecepatan terhadap waktu GLB

Secara umum hubungan antara perpindahan (x) dan kecepatan (t) dapat dituliskan :

$$x_t - x_0 = vt$$

$$x_t = x_0 + vt$$

Keterangan:

x_t = perpindahan benda setelah bergerak selama t (m)

x_0 = posisi benda mula-mula (saat t = 0) (m)

v = kecepatan benda (m/s)

t = waktu tempuh benda (s)

4. Gerak Lurus Berubah Beraturan

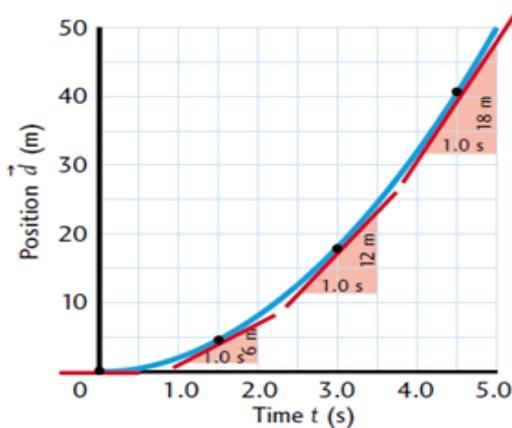
Sebuah mobil mainan diletakkan di atas bidang miring kemudian dilepas sehingga mobil mainan menuruni bidang miring. “Bagaimanakah gerak mobil mainan tersebut?”. Mobil mainan lainnya diletakkan di dasar bidang miring kemudian dilepas sehingga menaiki bidang miring. “Bagaimanakah gerak mobil mainan tersebut?” Apakah perbedaan dari kedua gerak tersebut?

Peristiwa di atas mengandung gerakan dari diam, mulai bergerak, dan selanjutnya gerakan makin cepat. Adanya gerakan makin cepat menandakan benda mengalami perubahan kecepatan. Benda yang mengalami perubahan kecepatan disebut mengalami percepatan. Untuk memahami tentang percepatan dan gerak lurus berubah beraturan, lakukan kegiatan berikut ini.

Benda dikatakan melakukan gerak lurus berubah beraturan, jika benda bergerak pada lintasan garis lurus dengan kecepatan benda berubah secara beraturan terhadap waktu. Kecepatan benda dapat bertambah secara beraturan maupun berkurang secara beraturan. Benda dikatakan bergerak lurus berubah beraturan dipercepat jika kecepatan benda bertambah secara beraturan. Sedangkan benda dikatakan bergerak lurus berubah beraturan diperlambat, jika kecepatan benda berkurang secara beraturan. Perubahan kecepatan setiap satuan waktu disebut percepatan.

Analisis Grafik GLBB

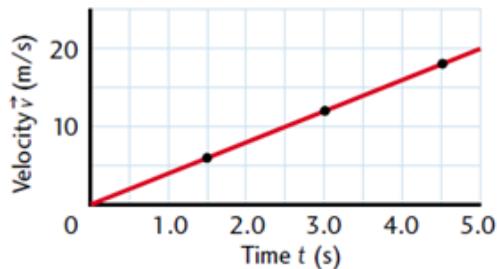
Pada sebuah tes performa, Mobil Honda Civic menghasilkan grafik d-t pada Gambar 1.9. Grafik d-t melengkung berarti kecepatan berubah. Selanjutnya dari grafik d-t dapat ditentukan kemiringan grafik ini pada empat waktu berbeda yang memberikan kecepatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.10. Memplot poin-poin ini memberikan grafik v-t pada Gambar 1.11.



Gambar 1.9 Grafik d-t Gerak Honda Civic dengan kecepatan berubah

Time (s)	Velocity (m/s)
0.0	0.0
1.5	6.0
3.0	12
4.5	18

Gambar 1.10 Tabel kecepatan untuk setiap waktu



Gambar 1.11 Grafik Kecepatan terhadap waktu untuk GLBB

Gambar 1.11 menunjukkan kecepatan yang terus meningkat. Jika kecepatannya meningkat, benda mengalami percepatan. Untuk menemukan percepatan, diperoleh dari kemiringan grafik v-t.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{18 \text{ m/s} - 6 \text{ m/s}}{4.5 - 1.5 \text{ s}} = \frac{12 \text{ m/s}}{3.0 \text{ s}} = 4.0 \text{ m/s}^2$$

Nilai untuk **percepatan** adalah angka positif. Tanda menunjukkan bahwa akselerasi berada pada arah yang sama dengan kecepatan, yang berarti bahwa mobil melaju kencang. Percepatannya adalah $4,0 \text{ m/s}^2$. Persamaan percepatan dapat dituliskan:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_o}{t_2 - t_1}$$

Jika $t_0 = 0$ maka $at = v_t - v_0$ atau dapat dituliskan:

$$v_t = v_0 + at$$

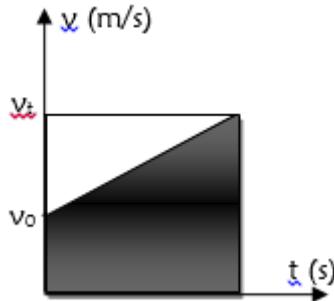
Keterangan:

v_t = besar kecepatan awal (m/s)

v_0 = besar kecepatan setelah t sekon (m/s)

a = besar percepatan (m/s²)

t = waktu (s)



Gambar 1.12 Jarak Tempuh = luas trapesium = luas daerah yang diarsir

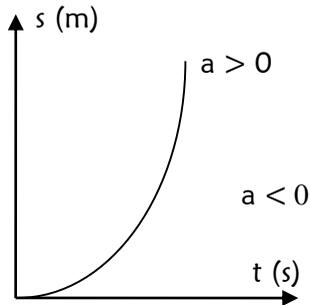
Perhatikan Gambar 1.12. Jika besar kecepatan awal benda (v_0), kecepatan akhir benda (v_t), dan waktu (t) untuk mengubah kecepatan benda tersebut diketahui, maka jarak tempuh benda yang bergerak lurus berubah beraturan dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini. Jarak yang ditempuh (s) = luas daerah yang diarsir (luas trapesium).

$$s = (v_0 + v_t) \left(\frac{1}{2} t \right)$$

dengan mensubstitusikan persamaan $v_t = v_0 + at$ ke persamaan $s = (v_0 + v_t) \left(\frac{1}{2} t \right)$ diperoleh:

$$s = \left((v_0 + v_0 + at) \left(\frac{1}{2} t \right) \right) = (2v_0 + at) \left(\frac{1}{2} t \right)$$

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



Gambar 1.13. Grafik hubungan s-t pada gerak lurus berubah beraturan

Jarak tempuh (s) merupakan fungsi kuadrat dari selang waktu (t). Jika dibuat grafik hubungan (s) terhadap (t) akan diperoleh grafik seperti pada Gambar 1.13. Untuk harga a positif, kelengkungan grafiknya menghadap ke atas sedangkan untuk a negatif, kelengkungan grafiknya menghadap ke bawah. Jika nilai a positif, benda mengalami percepatan dan nilai a negatif benda mengalami perlambatan.

5. Gerak Vertikal

Sebelum memahami tentang apa itu gerak vertical, lakukan terlebih dahulu demonstrasi berikut:

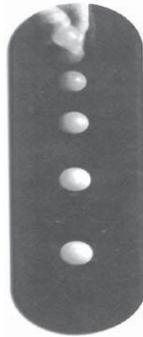
- Ambillah batu dan kertas.
- Lepaskan batu dan kertas secara bersamaan.
Bagaimanakah gerak batu dan kertas?
- Manakah yang lebih dahulu jatuh ke lantai? Batu atau kertas?

- Lakukan hal yang sama, namun dengan menggumpalkan kertas dan menjatuhkannya secara bersamaan dengan batu. Apakah saat dijatuhkan, gumpalan kertas dan batu tiba pada saat yang bersamaan?

Pada demonstrasi tersebut, paku dan kayu memiliki massa yang berbeda. Namun, keduanya tiba pada saat yang sama. Ini menunjukkan kecepatan jatuh benda akan selalu sama, meskipun massa benda berbeda, dengan syarat gaya gesek diabaikan. Jadi, massa tidak mempengaruhi kecepatan jatuh benda.

Salah satu contoh gerak yang paling umum mengenai gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah benda yang mengalami jatuh bebas dengan jarak yang tidak jauh dari permukaan tanah. Dalam kehidupan sehari-hari salah satu contoh dari gerak jatuh bebas adalah buah kelapa tua yang jatuh dari pohon.

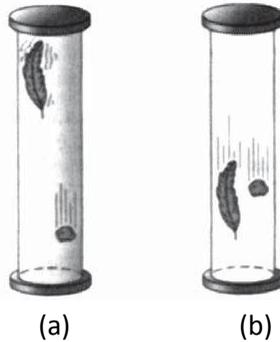
Galileo menemukan bahwa semua benda akan jatuh dengan percepatan konstan yang sama jika tidak ada udara atau hambatan lainnya. Ia menyatakan bahwa untuk sebuah benda yang jatuh dari keadaan diam tampak seperti pada Gambar 1.14, jarak yang ditempuh akan sebanding dengan kuadrat waktu, $h \sim t^2$.



Gambar 1.14. Foto rangkap benda jatuh bebas (Giancoli, 2001)

Untuk memperkuat penemuannya bahwa laju benda yang jatuh bertambah ketika benda itu jatuh, Galileo menggunakan argumen yang cerdas. Sebuah batu berat yang dijatuhkan dari ketinggian 2 m akan memukul sebuah tiang pancang lebih dalam ke tanah dibandingkan dengan batu yang sama tetapi dijatuhkan dari ketinggian 0,2 m. Jelas, batu tersebut bergerak lebih cepat pada ketinggian yang pertama.

Galileo juga menegaskan bahwa semua benda, berat atau ringan jatuh dengan percepatan yang sama, jika tidak ada udara (hampa udara). Galileo yakin bahwa udara berpengaruh besar terhadap gesekan benda. Dalam ruang yang udaranya telah dikeluarkan (ruang hampa), bulu ayam yang melintang horizontal akan jatuh dengan percepatan yang sama dengan benda lain (Gambar 1.15).



Gambar 16. Bulu ayam dan batu dijatuhkan dari ketinggian dan saat yang sama: (a) di udara, (b) di ruang hampa udara, (Giancoli, 2001)

Sumbangan Galileo yang spesifik terhadap pemahaman kita mengenai gerak benda jatuh bebas dapat dirangkum sebagai berikut:

“Pada suatu lokasi tertentu di Bumi dan dengan tidak adanya hambatan udara, semua benda jatuh dengan percepatan konstan yang sama”.

Kita menyebut percepatan ini percepatan yang disebabkan oleh gravitasi pada Bumi dan diberi simbol dengan g , besar percepatan gravitasi kira-kira $g = 9,80 \text{ m/s}^2$.

Ketika membahas benda-benda yang jatuh bebas kita bisa memakai persamaan di mana untuk a kita gunakan nilai g yang telah diberikan. Selain itu, karena gerak tersebut vertikal, kita akan mengganti x dengan y , dan menempatkan y_0 di tempat x_0 . Kita ambil $y_0 = 0$, kecuali jika ditentukan lain. Tidak masalah apakah kita memilih y positif pada arah ke atas atau arah ke bawah, yang penting kita harus konsisten sepanjang

penyelesaian soal. Secara matematis persamaan pada gerak jatuh bebas dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}v_t &= v_0 + gt \\y &= v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \\v_t^2 &= v_0^2 + 2gy\end{aligned}$$

dengan:

v_0 = kecepatan awal (m/s)

v_t = kecepatan akhir (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

y = jarak tempuh benda (m)

t = waktu (s)

KESIMPULAN

- Jarak merupakan besaran skalar, sedangkan perpindahan merupakan besaran vektor.
- Kelajuan suatu benda hanya ditentukan oleh jarak tempuh dan selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tanpa memperhatikan arah perpindahannya.
- Kecepatan merupakan besaran vektor karena arah geraknya diperhitungkan. Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai perpindahan dalam suatu selang waktu, sedangkan kecepatan sesaat adalah kecepatan rata-rata yang diambil selama jangka waktu yang singkat.
- Percepatan adalah perubahan kecepatan. Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai perubahan kecepatan Δv dalam selang waktu Δt , sedangkan percepatan sesaat didefinisikan sebagai percepatan benda pada waktu tertentu.
- Suatu benda dikatakan melakukan gerak lurus beraturan, jika lintasan dari benda merupakan garis lurus dan lajunya setiap saat adalah tetap (kecepatan tetap).
- $v = \text{konstan}$ dan $s = v \cdot t$

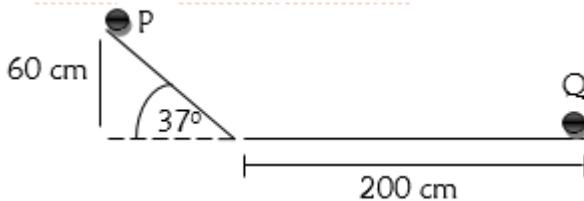
REFERENSI

- Giancoli, Douglas C. (2001). *Fisika/Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Kanginan, Marthen. (2013). *Fisika 1 untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Erlangga.
- Nowikow, I., Heimbecker, B., Bosomworth, D., & Van Bemmell, H. M. (2001). *Physics: Concepts and Connections*. Irwin Publishing Limited.

Serway, R. A., & Vuille, C. (2007). *Essentials of College Physics*.
United State of America: Thomson Learning, Inc.

TUGAS

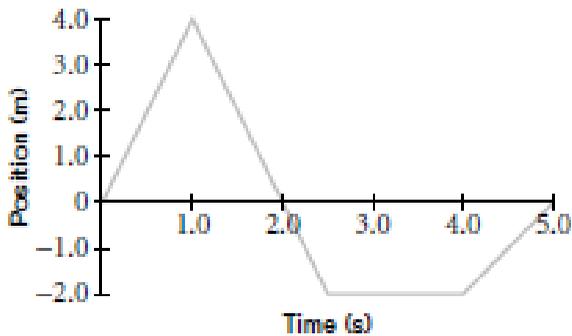
1. Titik A menempati koordinat $(-2, 1)$ dan titik B menempati koordinat $(1, 5)$. Tentukanlah:
 - a. perpindahan dalam arah sumbu x dan dalam arah sumbu y
 - b. besar perpindahan dari A ke B
2. Bola tenis jatuh vertikal dari ketinggian 2 m di sebuah lapangan berumput. Bola mengalami satu kali pemantulan dengan ketinggian 20 cm, kemudian berhenti. Tentukan jarak tempuh bola tenis tersebut!
3. Perhatikan gambar berikut ini!



Kelereng dilepaskan dari titik P pada sebuah bidang miring dengan sudut kemiringan 37° dan tinggi bidang miring 60 cm. Kelereng berhenti di titik Q yang berjarak 200 cm dari kaki bidang miring. Hitung jarak lintasan yang ditempuh kelereng!

4. Kuda berlari menjauh dari pelatihnya sepanjang garis lurus, menempuh 130 m dalam 14 s. Kuda itu kemudian mendadak berbalik dan berlari kembali separuh jalan dalam 4,8 s. Anggap menjauh dari pelatih sebagai arah positif. Hitung kecepatan rata-rata dan kelajuan rata-rata

5. Mobil di jalan raya melaju dengan kecepatan 30 m/s. Mobil kemudian direm dengan perlambatan 5m/s^2 . Hitung:
 - a. Lama waktu rem diinjak hingga mobil berhenti
 - b. Jarak tempuh mobil dari saat rem diinjak sampai berhenti.
6. Perhatikan grafik posisi terhadap waktu dari sebuah perlombaan lari.



Source: http://www.ahmedattar.com/physics/books/te_ch02.pdf.

Berdasarkan grafik tersebut, tentukan:

- a. Berapakah perpindahan seorang pelari pada $t = 3$ sekon
 - b. Berapakah kecepatan rata-rata selama interval waktu 0 s sampai 3 sekon?
7. Bola tenis dilemparkan dari atap gedung yang tingginya 40 m vertikal ke atas dengan kecepatan 10 m/s. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 , tentukanlah waktu yang diperlukan bola untuk sampai di tanah!

8. Peluru ditembakkan dari senapan vertikal ke atas dengan kelajuan 540 km/jam dan percepatan gravitasi bumi 10 m/s². Tentukanlah:
- Kecepatan peluru setelah 10 s
 - Tinggi maksimum yang dapat dicapai
 - Kecepatannya setelah tiba kembali di tanah

BAB II

DINAMIKA PARTIKEL

Pada dasarnya setiap benda mengalami gaya luar karena setiap benda pasti berinteraksi dengan benda lain dan nyatanya tidak ada satu benda pun di alam yang mutlak diam. Namun ada benda yang relative diam dan ada juga benda yang bergerak terus menerus tanpa henti. Kita juga terkadang melihat objek yang menjadi lebih cepat atau lebih lambat dari sebelumnya. Sebuah benda tampak diam atau bergerak berdasarkan pengamatan pada tempat atau kerangka acuan tertentu tergantung pada gaya resultan yang bekerja padanya. Newton merangkum konsep tentang gerak dan gaya dalam suatu hukum yang disebut Hukum Newton. Cabang mekanika yang mempelajari tentang gerak benda beserta dengan apa yang menyebabkan benda itu bergerak disebut dengan “Dinamika”. Seperti pada bab I, bahwa dalam buku ini yang akan dibahas adalah dinamika partikel. Dimana partikel atau benda titik adalah yang ukurannya dapat diabaikan terhadap skala ukuran lain yang ada dalam permasalahan.

Indikator

1. Mendeskripsikan hukum Newton sebagai konsep dasar dinamika partikel
2. Mengaplikasikan hukum Newton dalam persoalan dinamika sederhana
3. Mengaplikasikan hukum Newton dalam persoalan gerak melingkar
4. Melakukan eksperimen untuk menginvestigasi hubungan

antara gaya, massa, dan percepatan pada gerak lurus.

Materi Pembelajaran

1. Gaya dan Interaksinya

Gaya (*force*) dalam bahasa sehari-hari berarti dorong atau tarik. Konsep gaya memberikan gambaran kuantitatif tentang interaksi antara dua objek atau antara objek dan lingkungannya. Tarikan atau dorongan dapat melalui kontak langsung (gaya kontak) atau melalui jarak tertentu (gaya jarak jauh). Beberapa contoh gaya kontak yang ada dalam kehidupan sehari-hari adalah ketika kita mendorong almari, menarik gerobak secara langsung dan gesekan oleh kaki kita ke tanah. Sedangkan beberapa contoh gaya jarak jauh adalah magnet yang mampu menarik benda-benda yang terbuat dari besi, atau buah kelapa yang jatuh ke tanah yang disebabkan oleh gaya gravitasi.

Gaya merupakan besaran vector karena mempunyai nilai dan arah. Selain itu, gaya juga memenuhi aturan operasi vector dalam perhitungannya. Satuan gaya dalam SI adalah Newton yang dilambangkan dengan N. Besaran dan arah gaya bergantung pada jenis sistem dan lingkungan yang ditinjau dan dinyatakan oleh hukum gaya. Hukum gaya ini memiliki bentuk unik untuk suatu sistem dan lingkungannya; Sistem dan / atau lingkungan yang berbeda memiliki hukum gaya yang berbeda. Contoh pasangan sistem dan lingkungan serta hukum gaya yang berlaku adalah sebagai berikut:

- a. Sepasang dua benda titik sistem, pasangan satelit-bumi:
Gaya gravitasi.
- b. Benda di dekat permukaan bumi: Gravitasi.

- c. Benda yang diikat dengan tali: Gaya tegang tali.
- d. Benda yang bersentuhan dengan lantai: gaya kontak, gaya normal, gaya gesek.
- e. Objek diikat ke pegas: Gaya Hooke
- f. Objek yang tenggelam dalam cairan: Gaya apung Archimedes
- g. Sebuah benda bermuatan q bergerak dalam medan listrik E dan medan magnet B : gaya Lorentz

2. Jenis-jenis Gaya

a. Gaya Berat

Semua benda yang mempunyai massa dan berada dekat dengan permukaan bumi akan dikenai percepatan yang sama besar menuju pusat bumi. Percepatan tersebut dikenal sebagai gravitasi bumi. Mengingat bahwa setiap benda memiliki massa tertentu, maka gaya yang bekerja pada benda yang berada dekat dengan permukaan bumi adalah $F = ma$, dimana $a = g$. Gaya semacam ini disebut gravitasi, dirumuskan:

$$w = mg$$

dimana g adalah percepatan gravitasi bumi yang nilainya di permukaan bumi sekitar $9,8 \text{ m / s}^2$. Gaya gravitasi untuk benda-benda yang letaknya jauh dari permukaan bumi diselesaikan dengan rumusan percepatan gravitasi yang didapat dari hukum gravitasi universal. Ini akan dibahas dalam bab terpisah.

b. Gaya Pegas

Gaya pegas adalah gaya yang ditimbulkan oleh suatu pegas ideal yang ditarik/diregangkan atau ditekan/dimampatkan. Besarnya gaya pegas adalah sebanding dengan konstanta dan perubahan panjang pegas. Sedangkan arah dari gaya pegas adalah berlawanan dengan arah perubahan panjangnya. Dengan kata lain, jika kita meregangkan pegas mendekati tubuh kita, maka arah gaya pegas adalah menjauhi tubuh kita. Jadi gaya yang diberikan oleh pegas adalah:

$$F = -kx$$

x adalah vektor besar perubahan panjang pegas dan tanda negatif pada persamaan di atas menunjukkan arah gaya yang berlawanan dengan arah perubahan panjang pegas. Konstanta proporsionalitas k juga dikenal sebagai konstanta pegas. Kebanyakan pegas nyata akan mengikuti persamaan di atas untuk nilai x yang cukup kecil.

c. Gaya Normal/Gaya Kontak

Antara dua permukaan benda yang saling bersentuhan, akan terjadi gaya dari permukaan satu benda ke permukaan benda yang kedua, begitu pula sebaliknya. Arah gaya normal tegak lurus ke permukaan dan membentuk pasangan aksi-reaksi. Besar gaya normal dapat diketahui dari persamaan hukum Newton, jika besar gaya lain diketahui.

d. Gaya Tegang Tali

Gaya tegangan pada tali adalah gaya yang bekerja pada ujung tali karena tali tersebut tegang. Benda apa pun yang ditarik, digantung, dipegang, atau diayunkan dengan tali, benang atau yang lainnya akan dikenai gaya tegangan. Jika tali

dianggap ringan, maka gaya tegangan pada tali di kedua ujung tali adalah dianggap sama.

Flying Fox



Gambar 2.1. Permainan Flying Fox

Flying fox adalah istilah yang digunakan dalam Bahasa Inggris Australia dan Selandia Baru serta mengacu pada aktivitas gravitasi yang menggunakan zip line (terdiri dari katrol yang digantungkan ke *wire* atau kabel baja). Zipline sendiri memiliki skala kecil dan biasanya digunakan untuk permainan anak-anak. Namun sebenarnya arti dari *flying fox* tidak berhubungan dengan aktivitas meluncur di ketinggian yang dilakukan manusia karena flying fox adalah nama hewan, *flying* = terbang dan *fox* = rubah. Dalam bahasa Indonesia hewan itu disebut kalong (kelelawar pemakan buah yang berukuran besar).

Untuk menghitung besar tegangan tali pada kegiatan *flying fox*, kita bisa menganggap bahwa system dalam keadaan diam atau bergerak dengan percepatan tertentu. Jika orang atau benda maupun tali tidak bergerak--seluruh sistem diam, maka kita bisa mengatakan bahwa beban berada dalam kesetimbangan sehingga gaya tegangan pasti sama dengan gaya gravitasi pada benda. Dengan kata lain, Tegangan (F_t) = Gaya gravitasi (F_g) = $m \times g$. Akan tetapi jika sebuah benda yang tergantung pada tali mengalami percepatan oleh sebuah gaya pada tali atau kabel, gaya percepatan (massa \times percepatan) ditambahkan pada tegangan yang disebabkan oleh berat benda.

Pemecahan Masalah

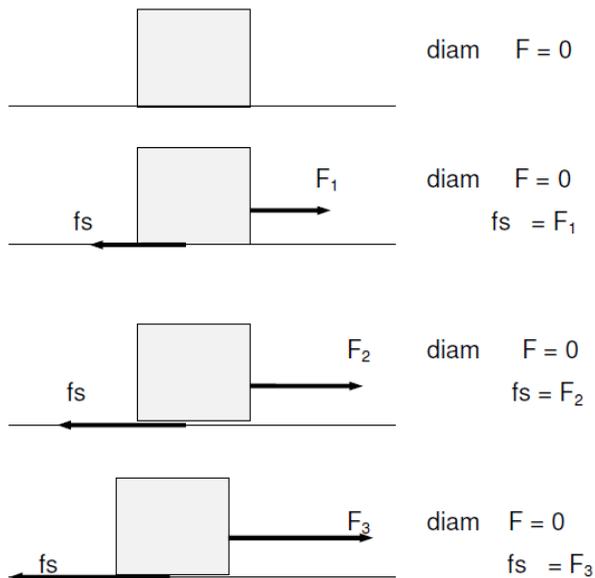
- a. Jika diketahui massa orang yang melakukan aktivitas *flying fox* adalah 60 kg, ketika berada di lintasan tengah orang tersebut berhenti untuk melakukan foto (system dalam keadaan diam). Maka berapakah tegangan tali yang menahan orang tersebut?

e. Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang terjadi antara dua permukaan yang bergerak relatif berlawanan. Besarnya gaya gesek dilihat dari sifat permukaan yang disentuh. Sifat permukaan kontak dapat dinyatakan dalam bentuk angka yang disebut koefisien gesekan yang dilambangkan dengan (μ). Koefisien gesekan berkisar antara nol dan 1, sehingga $0 \leq \mu \leq 1$.

Ada dua jenis koefisien gesekan, yaitu koefisien gesekan statis (μ_s) dan koefisien gesekan kinetik (μ_k).

- 1) Gaya gesek statis adalah gaya gesek yang terjadi pada saat benda diam, dilambangkan dengan f_s . Jika gaya gesek (F) terus membesar, maka gaya gesek statis (f_s) juga semakin besar dan terus melawan gaya (F), hingga suatu saat gaya gesek statis mencapai nilai maksimumnya. Jika F terus diperbesar, maka f_s yang sudah mencapai nilai maksimalnya tidak bisa lagi melawan gaya F sehingga benda mulai bergerak. Gesekan statik maksimum adalah gaya terkecil yang dibutuhkan benda untuk mulai bergerak. Pertimbangkan sebuah balok yang terletak pada bidang datar yang kasar (Gambar 2.2)



Gambar 2.2 Sebuah balok diam di atas bidang kasar

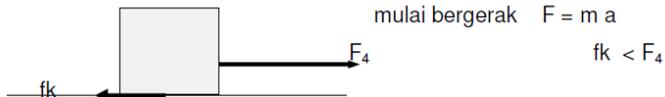
Gaya gesek yang terjadi saat benda diam disebut gaya

gesek statis. Gesekan statik maksimum adalah gaya terkecil yang dibutuhkan benda untuk mulai bergerak. Syarat gaya gesek statis maksimum:

- ✓ Tidak tergantung luas daerah kontak.
- ✓ Sebanding dengan gaya normal.

$$f_s \leq \mu_s N$$
$$f_s = f_s \text{ maks} = \mu_s$$

2) Bila F_3 diperbesar sedikit saja, benda akan bergerak.



Gaya gesek yang terjadi selama benda sedang bergerak disebut gaya gesek kinetik dilambangkan dengan f_k .

$$f_k \leq \mu_k N$$

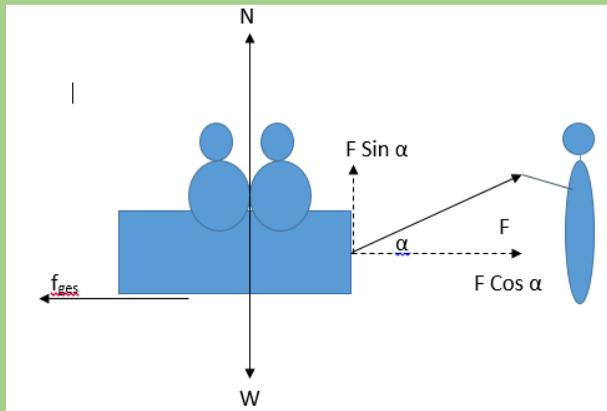
Geredan Plapah Jambe (Tarikan Pelelah Pinang)

Pemakah kalian mendengar permainan tersebut? Permainan yang satu ini sangat menyenangkan bagi anak-anak karena tinggal duduk dan kemudian ditarik. Biasanya anak-anak akan berebut mencari pelelah pinang yang sudah jatuh yang kemudian dirapikan. Biasanya anak-anak akan bergantian antara yang menarik dan yang ditarik karena cape juga kalau harus menarik terus menerus.



Gambar 2.3 Permainan Tarikan Pelelah Pinang

Dalam permainan ini bisa kita menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada sistem (permainan gerdan pelelah pinang) sebagai berikut:



Gambar 2.4. Komponen gaya pada sistem permainan gerdan pelelah pinang

Berdasarkan gambar 2.4, kita dapat mengetahui besar gaya minimum yang harus diberikan oleh penarik supaya

pelepeh pinang yang dinaiki oleh dua anak tersebut dapat bergerak. Kembali pada konsep awal, bahwa gaya tarik yang diberikan oleh penarik harus lebih besar dari pada gaya gesek statis maksimumnya.

$$F \cos \alpha > f_s \text{maks}$$

Dari gambar kita dapat menentukan $f_s \text{maks}$

$$N + F \sin \alpha - W = 0$$

$$N = W - F \sin \alpha$$

Setelah kita mengetahui gaya Normalnya kita dapat menentuka besar gaya gesek statis maksimumnya yaitu

$$f_s \text{maks} = \mu_s N$$

$$f_s \text{maks} = \mu_s (W - F \sin \alpha)$$

Sehingga $F \cos \alpha > \mu_s (W - F \sin \alpha)$

Pemecahan Masalah

- a. Jika diketahui massa total anak laki-laki A dan B masing-masing adalah 25 kg dan koefisien gesekan antara pelepeh pinang dan tanah adalah 0,2 dan 0,4. Seorang anak perempuan menarik pelepeh pinang dengan gaya 80 N (Anggap sudut antara gaya dan tanah adalah nol = F pada arah horizontal), maka apakah pelepeh pinang tersebut akan bergerak? Berapakah gaya gesek antara pelepeh pinang dan tanah?
- b. Berapakah gaya yang dibutuhkan oleh anak perempuan tersebut agar pelepeh pinang yang dinaiki kedua anak laki-laki tersebut dapat begerak?

3. Hukum-Hukum Newton

a. Hukum I Newton

Pandangan bahwa gaya adalah penyebab benda bergerak telah diyakini oleh Aristoteles sejak tahun 350 sebelum masehi. Menurut Aristoteles, keadaan alamiah dari sebuah benda adalah diam, dan suatu gaya diperlukan untuk membuat benda tersebut bergerak. Dua ribu tahun kemudian pandangan ini diperbaharui oleh Galileo yang menyimpulkan bahwa keadaan alamiah sebuah benda adalah diam atau bergerak dengan kecepatan tetap (keadaan setimbang). Untuk mengubah kecepatan gerak benda dibutuhkan gaya luar, tetapi untuk mempertahankan kecepatan tidak dibutuhkan gaya luar sama sekali. Prinsip ini kemudian oleh Newton diangkat sebagai hukum yang pertama dari ketiga hukum geraknya. Newton menyajikan hukum pertamanya dalam ungkapan kata-kata sebagai berikut

“Setiap benda tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan kecuali jika ia dipaksa untuk mengubah keadaan itu oleh gaya-gaya yang berpengaruh padanya”

Kenyataan bahwa tanpa gaya luar suatu benda akan tetap diam atau tetap bergerak lurus beraturan sering dinyatakan dengan memberikan suatu sifat benda yang disebut inersia (kelembaman) dan kerangka acuan dimana hukum ini berlaku disebut kerangka inersia. Dalam hukum I Newton tersirat pula bahwa tidak ada perbedaan antara pengertian tidak ada gaya yang sama sekali dengan ada gaya-

gaya yang resultannya nol. Dengan demikian, bentuk lain pernyataan hukum I Newton adalah *“Jika tidak ada resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda, maka percepatan benda adalah nol”*.

Secara matematis Hukum I Newton dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum F = 0$$

Untuk lebih meyakinkan kamu tentang berlakunya hukum ini dalam kehidupan sehari-hari, bacalah dengan cermat *“Sabuk Pengaman”* untuk mendapatkan penjelasan bagaimanakah cara mencegah bahaya yang ditimbulkan oleh kelembaman tubuhmu. Selanjutnya, kamu akan memahami bagaimana *“gerak gasing”* dan permainan *“Manatahan (boy boyan)”*.

Sabuk Pengaman

Apakah kamu selalu menggunakan sabuk pengaman pada saat mengendarai mobil? Atau, pernahkah kamu melihat atau mendengar anjuran menggunakan sabuk pengaman saat mengendarai mobil? Mengapa orang yang mengendarai mobil perlu menggunakan sabuk pengaman?

Melalui berbagai eksperimen, para ilmuwan mengetahui bahwa luka parah dan kematian pada penumpang akibat kecelakaan mobil dapat dicegah. Caranya adalah dengan menggunakan sabuk pengaman yang menyilang pada bahu, dada, dan pangkuan penumpang.

Apa yang terjadi pada sebuah tabrakan? Apabila sebuah mobil yang melaju dengan kecepatan sekitar 50

km/jam menabrak benda besar yang padat, mobil tersebut akan ringsek dan berhenti mendadak dalam waktu sekitar 0,1 s. Karena *kelembamannya*, penumpang akan terus bergerak maju dengan kecepatan 50 km/jam, sama dengan kecepatan mobil tersebut. Kecepatan ini kurang lebih sama dengan kecepatan penumpang apabila jatuh dari lantai tiga sebuah gedung. Dalam waktu sekitar 0,02 s setelah mobil berhenti, penumpang itu akan membentur *dashboard*, kemudi, atau bagian belakang kursi depannya.



Gambar 2.5. Penggunaan Sabuk Pengaman di Mobil

Penumpang yang menggunakan sabuk pengaman seperti gambar di samping ini akan tetap tertahan di kursi. Penumpang itu akan melambat seiring dengan melambatnya mobil. Gaya yang diperlukan untuk memperlambat seseorang dari 50 km/jam menjadi nol dalam waktu 0,1 s sama dengan

14 kali beratnya.

Sabuk pengaman itu “memberi” sedikit waktu tambahan untuk melambat bagi penumpang itu, pada saat sabuk sedikit meregang menahan orang tersebut. Disamping itu, sabuk tersebut juga menyebarkan gaya, sehingga gaya itu tidak memusat hanya satu bagian tubuh orang tersebut

b. Hukum II Newton

Hukum I Newton digunakan untuk kasus atau permasalahan benda yang memiliki resultan gaya nol. Namun Hukum I Newton tidak dapat diimplementasikan pada kasus benda yang memiliki gaya total yang bekerja pada benda tersebut. Seperti contoh, sebuah balok yang meluncur pada bidang miring dengan permukaan kasar. Selama balok tersebut turun gaya gesek menyebabkan kecepatan balok tersebut berkurang dan akhirnya berhenti. Dimana gaya gesek dapat disebut sebagai gaya luar yang menyebabkan kuantitas gerak suatu benda berubah. Pemyataan inilah yang menjadi dasar Hukum II Newton.

Berbagai pengamatan menunjukkan bahwa untuk menghasilkan perubahan kecepatan yang sama, objek yang berbeda memerlukan "besaran" efek eksternal yang berbeda. Di sisi lain, dengan pengaruh luar yang sama, perubahan kecepatan pada benda ternyata berbeda. Jadi terdapat besaran intrinsik (diri) dalam benda yang menentukan besarnya pengaruh luar yang dapat mengubah kondisi gerak benda tersebut. Jumlah ini sebanding dengan jumlah dan jenis zatnya. Besaran intrinsik benda ini kemudian disebut massa inersia, dilambangkan dengan m . Massa inersia (atau sering

disebut dengan massa) memberikan ukuran derajat inersia atau derajat inersia suatu benda. Satuan massa adalah kilogram, dalam satuan SI. Makin besar massanya, makin sulit menghasilkan perubahan kondisi gerak benda.

Hukum II Newton menyatakan hubungan antara gaya dan perubahan keadaan gerak secara kuantitatif. Newton menyebutkan itu: **“kuantitas perubahan kecepatan gerak suatu partikel sama dengan resultan gaya yang bekerja pada partikel tersebut”**.

Dalam kehidupan sehari-hari, pernyataan Newton tersebut dapat diartikan sebagai momentum p yang didefinisikan sebagai: $p=mv$ dengan m adalah massa partikel dan v adalah kecepatannya. Dalam mekanika klasik pada umumnya massa partikel adalah tetap. Sehingga Hukum II Newton diformulasikan sebagai berikut:

$$\sum F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt}$$
$$\sum F = ma$$

c. Hukum III Newton

Setiap gaya mekanik selalu muncul berpasangan sebagai hasil interkoneksi antara dua benda. Jika benda A dikenakan gaya oleh B, maka benda B akan dikenakan gaya oleh benda A. Pasangan gaya ini dikenal sebagai pasangan aksi-reaksi. Menurut Hukum Ketiga Newton:

Setiap gaya mekanik selalu muncul berpasangan, yang satu disebut aksi dan yang lain disebut reaksi, sedemikian rupa sehingga aksi = - reaksi.

$$F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

Mana yang disebut gaya aksi dan mana yang disebut gaya reaksi tidaklah hal penting. Namun yang terpenting adalah kedua-duanya ada.

Pasangan gaya disebut sebagai pasangan gaya aksi-reaksi manakala mempunyai sifat-sifat: (1) sama besar, (2) arahnya berlawanan, dan (3) bekerja pada benda yang berbeda. Jika pasangan gaya aksi-reaksi sudah memenuhi ketiga sifat ini, maka disebut telah memenuhi bentuk lemah hukum III Newton. Sedangkan jika pasangan gaya aksi-reaksi dapat memenuhi sifat tambahan yaitu (4) mereka terletak dalam satu garis lurus, maka pasangan gaya aksi-reaksi tersebut disebut memenuhi bentuk kuat hukum III Newton.

4. Aplikasi Hukum Newton pada Permainan

a. Permainan Manatahan (boy boyan)

Apakah kalian pernah mendengar atau melakukan permainan “Manatahan (boy boyan)?”. Tentunya kalian pernah melakukannya, meskipun dengan nama yang berbeda di daerah masing-masing. Permainan boy-boyan adalah permainan menyusun pecahan batu genteng menjadi menara. Batu genteng yang disusun tinggi seperti menara itu kemudian akan dilempar dengan bola yang digelindingkan seperti permainan bowling.

Permainan boy-boyan ini diawali dengan menyusun pecahan batu genteng menjadi seperti menara. Pada saat kita menyusun pecahan genteng tersebut, maka kita akan memilih genteng yang paling besar pada posisi paling bawah seperti Gambar 2.6. Tahukah kalian mengapa kita melakukan hal

tersebut? Mengapa tumpukan batu genteng dapat tetap bertahan seperti menara?



Gambar 2.6. Tumpukan genteng/kereweng pada permainan boy boyan

Untuk menjawab pertanyaan tersebut, mari kita ulas dulu keadaan tumpukan genteng. Pemain menempatkan potongan genteng terbesar di bagian paling bawah secara naluriah. Hal ini disebabkan pengaruh massa pecahan genteng. Semakin besar massa suatu benda, semakin kuat benda itu untuk mempertahankan keadaan awalnya. Saat keadaan awal benda diam, maka massa benda yang besar akan semakin sulit untuk digerakkan, dan saat keadaan awal benda bergerak maka massa yang besar akan semakin sulit untuk dihentikan. Kondisi ini juga dikenal sebagai inersia atau kelembaman benda.

Berdasarkan penjelasan tersebut, kita dapat mengetahui mengapa para pemain secara naluri meletakkan pecahan batu genteng yang lebih besar dengan massa yang besar berada paling bawah. Hal ini dikarenakan benda

berukuran besar lebih mampu menjaga kondisi tumpukan genteng tetap seimbang. Selanjutnya, mengapa tumpukan genteng dapat mempertahankan kondisinya? Ini dapat dijelaskan dengan hukum I Newton.

Selama susunan genteng berada pada kondisi setimbang atau resultan gaya yang bekerja = 0, maka susunan genteng tersebut akan tetap pada kondisi semula. Namun, jika ada gaya luar yang dikenakan pada susunan genteng tersebut sehingga gaya resultan yang bekerja pada susunan genteng $\neq 0$, maka susunan genteng akan jatuh atau roboh. Sifat benda yang cenderung mempertahankan keadaannya atau menolak perubahan kecepatannya atau bahwa benda diam akan tetap diam dan benda bergerak akan terus bergerak dengan kecepatan konstan dinyatakan dalam Hukum I Newton. Hukum I Newton disebut juga dengan hukum inersia. Ukuran inersia suatu benda adalah kuantitas massa. Semakin besar massa benda, semakin besar inersia benda tersebut (semakin sulit untuk memindahkan atau menghentikannya).

Jika tumpukan batu genteng dalam kondisi setimbang, maka kita dapat menentukan gaya gaya normal atau gaya kontak antara batu genteng. Sebagaimana yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa gaya normal dilambangkan dengan huruf N.



Sumber: Sukma, et al, (2019)

Gambar 2.7. Tumpukan batu genteng dalam keadaan setimbang

Gambar 2.7 menjelaskan bahwa pada susunan genteng bekerja gaya normal dan gaya berat. Gaya normal adalah gaya dimana titik tangkapnya berasal dari susunan genteng paling dasar dengan permukaan tanah yang arahnya gerak lurus terhadap bidang sentuh. Sedangkan gaya berat adalah gaya gravitasi yang dialami oleh keseluruhan massa susunan genteng dengan titik tangkap berada pada pusat massa susunan genteng dengan arah menuju pusat bumi. Pada kasus ini, susunan genteng dianggap sebagai satu sistem yang berada pada permukaan bidang datar, sehingga komponen gaya yang bekerja pada susunan genteng dapat diformulasikan sebagai berikut :

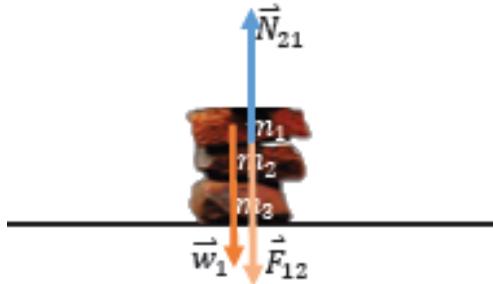
$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - w = 0$$

$$N = w = mg$$

Jika dilihat dari tiap-tiap susunan genteng, maka komponen gaya-gaya yang bekerja sebagai berikut:

Untuk susunan genteng paling atas (m_1) (lihat Gambar 2.8)



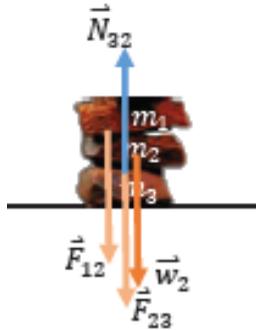
Sumber: Sukma, et al, (2019)

Gambar 2.8 Komponen gaya pada genteng paling atas

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ N_{21} - w_1 &= 0 \\ N_{21} &= w_1\end{aligned}$$

dengan N_{21} adalah gaya normal genteng paling atas terhadap bidang sentuh genteng kedua dari atas. Berdasarkan persamaan sebelumnya maka $N_{21} = w_1$, dimana besar nilai Gaya F_{12} (gaya aksi susunan genteng kedua terhadap genteng pertama dari atas) adalah pasangan gaya aksi-reaksi dari gaya normal N_{21} , dimana besar nilai N_{21} sama dengan F_{12} , dengan arah berlawanan satu sama lain.

Genteng kedua dari atas dengan massa m_2 (Gambar 2.9),
Komponen-komponen gaya yang bekerja pada m_2 adalah:



Sumber: Sukma, et al, (2019)

Gambar 2.9. Komponen gaya pada batu genteng kedua

$$\sum F_y = 0$$

$$N_{32} - N_{21} - w_2 = 0$$

dengan N_{32} merupakan gaya normal genteng kedua yang disebabkan oleh gaya sentuh dari genteng ketiga. Gaya N_{32} diformulasikan sebagai berikut:

$$N_{32} = (m_1 + m_2)g$$

Maka persamaab sebelumnya menjadi:

$$w_2 = N_{32} - N_{21}$$

$$w_2 = ((m_1 + m_2)g) - m_1g$$

$$w_2 = m_2g$$

Gaya F_{23} yang merupakan gaya aksi dari genteng ketiga terhadap genteng kedua adalah pasangan gaya aksi-reaksi dari gaya normal N_{32} . sehingga $N_{32} = F_{23}$, hanya arahnya berlawanan.

Tugas Analisis

Selanjutnya, lakukan analisis komponen gaya untuk batu genteng ke tiga dengan massa m_3 .

Tentukan: (1) Gaya normal batu ketiga terhadap tanah dan (2) pasangan gaya aksi-reaksinya.

Dalam permainan boy-boyan, susunan genteng selanjutnya akan dilempar dengan bola oleh tim pelempar. Sehingga susunan genteng yang awalnya dalam kondisi setimbang (resultan gaya = 0) menjadi bergerak (susunan genteng rubuh), perhatikan gambar 2.10.



Gambar 2.10. Tumpukan genteng yang dilempar bola

Bola yang akan dilemparkan pada susunan genteng adalah mula-mula pada keadaan diam di tangan pelempar, kemudian bergerak dengan kecepatan tertentu menuju susunan genteng akibat dari dorongan tangan pelempar. Bola tersebut kemudian mengenai dan merobohkan susunan genteng. Pada kejadian ini F (gaya) yang bekerja hanya terjadi pada waktu Δt . Artinya gaya itu diberikan sesaat pada saat

bola masih berada pada tangan pelempar.

Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar pelempar memberikan gaya, maka semakin besar pula perubahan kecepatan bola. Perubahan kecepatan bola yang semakin besar menunjukkan kemampuan bola yang semakin besar pula untuk dapat merobohkan susunan genteng. Dengan kata lain, jika gaya yang diberikan pada bola semakin besar, maka perubahan kecepatan bola akan semakin besar. Perubahan kecepatan bola disebut juga dengan percepatan (a).

Sebaliknya jika massa bola yang digunakan untuk melempar susunan genteng diperbesar, maka gaya dorong yang harus diberikan harus lebih besar agar perubahan kecepatan bola semakin besar. Pernyataan tersebut dinyatakan dengan besaran gaya adalah F , massa adalah m , dan percepatan adalah a . Hubungan kuantitas ini dikenal sebagai Hukum Kedua Newton.

Selanjutnya bola yang bergerak menuju susunan genteng dengan kecepatan tertentu menunjukkan bahwa bola telah menempuh lintasan tertentu, sehingga bola tersebut dapat dikategorikan bergerak lurus berubah beraturan (GLBB). Dalam hal ini, kecepatan dan jarak yang ditempuh bola dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$v_t^2 = v_o^2 + 2a\Delta x$$

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

dengan:

v_t = kecepatan akhir (m/s)

Δx = jarak (m)

a = percepatan (m/s^2)

F = Gaya ($kg\ m/s^2$ atau Newton)

b. Tarik Tambang

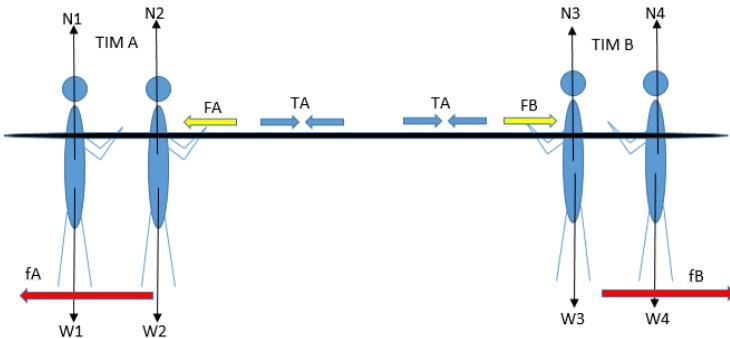
Tarik tambang adalah permainan sederhana yang merupakan salah satu permainan yang digemari masyarakat Indonesia. Permainan tersebut akan sering kita jumpai di lingkungan sekitar kita, apalagi saat memasuki bulan Agustus ,dimana sudah menjadi tradisi setiap tahunnya dalam rangka memperingati hari kemerdekaan Indonesia maka di setiap daerah di Indonesia mulai dari kota hingga pelosok Desa akan mengadakan serangkaian kegiatan, termasuk lomba, dan lomba tarik tambang salah permainan yang dilombakan dari sekian banyak permainan lainnya.



Gambar 2.11. Permainan Tarik Tambang

Peraturan permainannya tersebut sangatlah sederhana, kelompok yang mampu menarik lawan melewati garis batas maka akan menjadi pemenangnya. Jumlah pemain setiap kelompoknya pun bebas, tidak ada batasan, yang penting jumlahnya sama (Imbang). Untuk menentukan tim mana yang

menang, kita dapat menentukan komponen-komponen gaya pada permainan tumbang (dalam hal ini massa tali tumbang diabaikan). Perhatikan ilustrasi pada gambar 2.11.



Gambar 2.12. Komponen Gaya pada Permainan Tarik Tumbang

Berdasarkan gambar 2.12 dan dengan menerapkan Hukum II Newton kita dapat menentukan tim mana yang menang dan percepatannya:

$$\Sigma F = ma$$

$$F_A + f_A - F_B - f_B = (m1 + m2 + m3 + m4) \cdot a$$

$$a = \frac{F_A + f_A - F_B - f_B}{m1 + m2 + m3 + m4}$$

Dengan:

F_A = Gaya tarik tim A

f_A = Resultan gaya gesek tim A

F_B = Gaya tarik tim B

f_B = Resultan gaya gesen tim B

m_1, m_2, m_3, m_4 = massa masing-masing pemain tarik tumbang

Untuk mengetahui tim mana yang menang maka kita bisa

melihat dari apakah nilai percepatan positif atau negative. Jika nilai $a = (+)$ maka tim A yang menang karena searah dengan tim A. Sebaliknya jika nilai $a = (-)$ maka tim B yang menang karena searah dengan tim B. Untuk menentukan besarnya gaya gesek, kita dapat menggunakan persamaan:

$$f_A = \mu_k \cdot NA$$

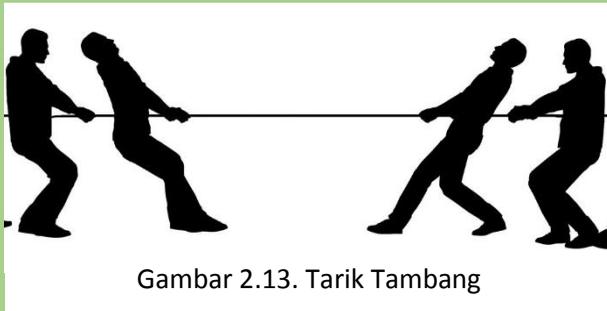
$$f_A = \mu_k \cdot (N1 + N2)$$

Dan

$$f_B = \mu_k \cdot NB$$

$$f_B = \mu_k \cdot (N3 + N4)$$

Pemecahan Masalah



Gambar 2.13. Tarik Tambang

Dalam rangka memperingati hari kemerdekaan Republik Indonesia, Kampung Clurut mengadakan lomba tarik tambang. Pada partai final mempertemukan dua tim yang sama-sama kuat yaitu tim elang dan tim garuda. Masing-masing tim terdiri dari dua orang. Tim elang, masing-masing anggotanya mempunyai massa 65 kg dan 75 kg. Sedangkan tim garuda, massa untuk masing-masing anggota adalah 70

kg dan 80 kg. Pada saat pertandingan tim elang menarik ke kiri dengan gaya 1000 N dan tim garuda 1250 N ke arah kanan. Jika koefisien gesek kinetis kaki dan tanah adalah 0,2, maka:

- a. Gambarkan gaya-gaya yang bekerja pada gambar perlombaan tarik tambang di atas
- b. Tim manakah yang akan memenangkan perlombaan tarik tambang tersebut?
- c. Berapakah percepatan yang dialami oleh tali tersebut?

5. Dinamika Gerak Melingkar

Hukum II Newton yaitu $F = m a$, menjelaskan bahwa syarat benda agar mengalami percepatan adalah harus ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Begitupula, jika sebuah benda bergerak dalam lintasan lingkaran, maka akan mengalami percepatan sentripetal (a_c) yang besarnya adalah

$\frac{v^2}{r}$, dimana r adalah jari-jari lintasan lingkaran. Percepatan

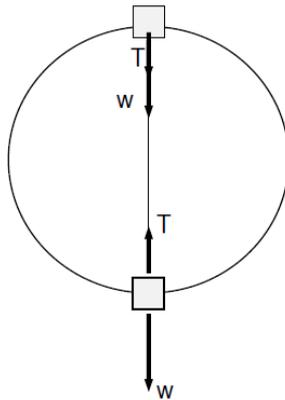
sentripetal tersebut ditimbulkan oleh gaya yang disebut dengan gaya sentripetal. Gaya sentripetal mempunyai arah yang sama dengan arah percepatan sentripetal yaitu menuju pusat lingkaran. Besarnya gaya sentripetal dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum F = m a_c = \frac{m v^2}{r}$$

$\sum F$ adalah resultan gaya arah radial. Pada kasus ini, benda yang bergerak melingkar dianggap mempunyai kelajuan yang sama tetapi kecepatan berbeda atau benda bergerak melingkar

beraturan.

Gaya yang bekerja pada gerak melingkar sebenarnya tidak hanya gaya sentripetal saja yang arahnya menuju pusat lingkaran, tetapi ada juga gaya sentrifugal. **Gaya sentrifugal** adalah gaya yang sejaris dengan gaya sentripetal tetapi arahnya berlawanan atau menjauhi pusat lingkaran. Misalkan pada kasus beriku: sebuah benda berbentuk balok diputar vertical dengan tali. Pada posisi di atas, gaya yang bekerja pada balok tersebut adalah tegangan tali T dan berat balok w yang arahnya sama-sama menuju pusat lingkaran, sehingga gaya sentripetalnya adalah $F_c = T + w$.



Gambar 2.14, Gerak Melingkar Balok pada Arah Vertikal
Pada posisi di bawah, gaya yang menuju ke pusat adalah tegangan tali T dan berat balok w (arah menjauhi pusat). Jadi $F_c = T - w$.

6. Aplikasi Dinamika Gerak Melingkar

a. Mobil menikung pada jalan datar kasar

Aplikasi dari percepatan sentripetal dapat kita rasakan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contohnya adalah

ketika kita mengemudi mobil yang melewati jalan menikung (tikungan). Kita seharusnya sudah memahami bagaimana cara mengemudikan mobil dengan baik agar tidak mengalami limbung atau *body roll* saat melewati tikungan.

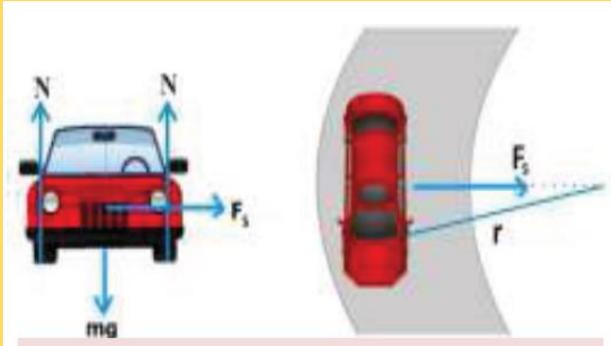
Apakah itu limbung atau *body roll*) yaitu kondisi dimana mobil seakan-akan tertarik ke arah luar lintasan saat mobil atau kendaraan sedang berbelok atau bermanuver. Kita yang sedang berada di dalam mobil mengalami perasaan seperti terlempar saat berada di dalam kabin. Perasaan tersebut timbul karena mobil tersebut mempunyai gaya ke dalam yang diberikan pada penumpang pada saat bergerak menikung. Gaya tersebut diberikan oleh gesekan antara ban dan permukaan jalan jika kondisi permukaan jalan kasar. Namun berbeda jika kondisi permukaan jalan cukup licin, maka gaya gesekan yang diberikan oleh mobil tidak akan cukup dapat mengimbangi gaya sentripetal yang bekerja pada mobil tersebut dimana nilai ($F_{\text{gesek}} < F_{\text{sentripetal}}$). Oleh sebab itu, jika gaya geseknya lebih kecil dari gaya sentripetalnya, maka mobil akan tergelincir keluar dari jalur melingkar ke jalur yang lebih lurus. Konsep mengenai mobil pada tikungan akan dijelaskan melalui salah satu contoh konseptual berikut ini.

Pemecahan Masalah

Sebuah mobil mempunyai massa 1000 kg sedang melewati tikungan pada jalan mendatar dengan radius jalan 50 m dengan kecepatan 14 m/s. Apakah yang akan terjadi pada mobil jika

- a) kondisi jalan kering dengan koefisien $\mu_s = 0,60$?
- b) kondisi jalan basah dan $\mu_s = 0,25$?

Penyelesaian



Gambar 2.15. Gaya Mobil yang Melewati Tikungan pada Jalan

Pada gambar dibawah menunjukkan diagram bebas yang bekerja pada mobil. Pada sumbu vertikal tidak ada percepatan yang bekerja dan gaya yang bekerja pada sumbu vertikal yaitu gaya normal F_N dan gaya berat yang ditimbulkan oleh mobil sehingga menurut hukum II Newton.

Diketahui: $m = 1000 \text{ kg}$; $v = 14 \text{ m/s}^2$, dan $r = 50 \text{ m}$

Karena pada arah vertical tidak ada gerakan sehingga:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - mg = 0$$

$$N = mg = 1000 \times 9,8 = 9800 \text{ N}$$

Besarnya gaya sentripetal pada mobil total yang diperlukan untuk mempertahankan gerak mobil untuk melewati tikungan adalah

$$\sum F_s = m \frac{v^2}{r}$$

$$\sum F_s = 1000 \frac{14^2}{50} = 3900 N$$

Mobil akan melewati tikungan dengan aman jika memenuhi syarat $\Sigma F_{\text{gesekan}} \geq \Sigma F_{\text{Sentripetal}}$

- a. Pada kondisi jalan kering dengan koefisien $\mu_s = 0,60$

$$F_{\text{gesekan}} = \mu_s N = 0,6 \times 9800 N = 5900 N$$

Karena gaya gesekan lebih besar dari gaya sentripetal maka mobil akan melewati tikungan dengan baik.

- b. Pada kondisi jalan basah dan $\mu_s = 0,25$ besarnya gaya gesekan adalah:

$$F_{\text{gesekan}} = \mu_s N = 0,25 \times 9800 N = 2500 N$$

Karena gaya gesekan lebih kecil dari gaya sentripetal maka mobil akan tergelincir pada tikungan dan cenderung bergerak ke jalur yang lurus.

Mengapa mobil yang melaju terlalu cepat ketika melewati tikungan jalan horizontal dapat slip? Ini karena kelajuan mobil melebihi batas kelajuan yang diperkenankan untuk menikung.

Agar mobil tidak slip ketika melewati tikungan maka **($F_{\text{gesek}} > F_{\text{sentripetal}}$)**.

Maka v_{maks} adalah

$$F_{\text{gesekan}} > F_{\text{sentripetal}}$$

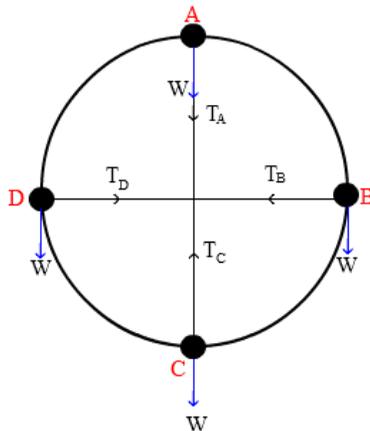
$$\mu_s mg > m \frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = \mu_s gr$$

$$v_s = \sqrt{\mu_s gr}$$

b. Gerak Benda Diputar Vertikal

Dalam kehidupan sehari-hari, kita juga sering menjumpai gerak melingkar vertikal. Salah satu contoh dari gerak melingkar vertikal adalah permainan bianglala. Bianglala merupakan permainan yang sering kita lihat di pasar malam atau tempat wahana bermain. Pada gambar 13, diketahui bahwa pada lingkaran telah dibagi menjadi empat titik penentuan tegangan tali yaitu A, B, C, dan D. Titik A adalah titik tertinggi, dan titik C adalah titik terendah. Berdasarkan titik A, B, C dan D, kita dapat menggambarkan komponen gaya yaitu tegangan tali dan gaya berat yang bekerja di masing-masing titik. Dengan ketentuan arah bahwa gaya sentripetal menuju pusat lingkaran dan gaya berat menuju ke pusat bumi.



Gambar 2.16. Diagram benda pada pola diputar vertikal

Karena benda dalam keadaan bergerak, maka berlaku hukum II Newton:

$$\sum F_y = ma$$

Karena benda bergerak melingkar, maka benda mempunyai percepatan sentripetal, sehingga hukum II Newton berlaku gaya sentripetal:

$$\sum F_s = m \frac{v^2}{r}$$

Berdasarkan uraian gaya pada gambar 13, maka dapat ditentukan tegangan pada titik A, B, C dan D sebagai berikut:

1) Di titik tertinggi (A)

Gaya yang bekerja pada benda adalah tegangan tali T_A menuju ke pusat lingkaran dan gaya berat menuju pusat bumi.

$$\sum F = \sum F_s$$

$$T_A + w = m \frac{v^2}{r}$$

$$T_A = m \frac{v^2}{r} - mg = m \left(\frac{v^2}{r} - g \right)$$

2) Di titik terendah (C)

Gaya yang bekerja pada benda adalah tegangan tali T_C menuju ke pusat lingkaran dan gaya berat menuju pusat bumi (menjauhi pusat lingkaran).

$$\sum F = \sum F_s$$

$$T_C - w = m \frac{v^2}{r}$$

$$T_C = m \frac{v^2}{r} + mg = m \left(\frac{v^2}{r} + g \right)$$

3) Di titik tengah (B dan D)

Gaya yang bekerja pada benda adalah tegangan tali $T_{C,D}$ menuju ke pusat lingkaran dan gaya berat tegak lurus terhadap arah gaya sentripetal. Dengan demikian yang berperan sebagai gaya sentripetal adalah gaya tegangan saja.

$$\sum F = \sum F_s$$

$$T_B = T_D = m \frac{v^2}{r}$$

KESIMPULAN

Tiga Hukum Newton tentang Gerak

1. Hukum I Newton/ Hukum Inersia

Setiap benda berlanjut dalam keadaan diam atau kecepatan seragam (gerakan dengan kecepatan seragam dalam garis lurus) kecuali jika ditindaklanjuti oleh gaya tidak seimbang (gaya total). Sebaliknya, jika sebuah benda diam atau bergerak dengan kecepatan yang seragam, semua gaya yang mungkin bekerja padanya harus dihilangkan sehingga gaya totalnya menjadi nol.

2. Hukum II Newton

Gaya total yang bekerja pada suatu benda secara numerik sama dengan, dan searah dengan, percepatan benda dikalikan dengan massanya, diformulasikan $\sum F = ma$

3. Hukum III Newton/ Hukum aksi-reaksi:

Jika satu benda memberikan gaya pada benda lain, benda kedua pada saat yang sama memberikan gaya pada benda pertama. Kedua gaya ini, masing-masing bekerja pada salah satu dari dua benda, memiliki besaran yang sama dan berlawanan arah.

REFERENSI

- Giancoli, Douglas C. (2001). *Fisika/Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Kanginan, Marthen. (2013). *Fisika 1 untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Erlangga.
- Nowikow, I., Heimbecker, B., Bosomworth, D., & Van Bemmell, H. M. (2001). *Physics: Concepts and Connections*. Irwin Publishing Limited.
- Serway, R. A., & Vuille, C. (2007). *Essentials of College Physics*. United State of America: Thomson Learning, Inc.
- Shofiyah, N., Wulandari, R., & Setiyawati, E. (2020). Modul Dinamika Partikel Terintegrasi Permainan Tradisional Berbasis E-Learning untuk Meningkatkan Literasi Sains. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran*, 6(2), 292-299.

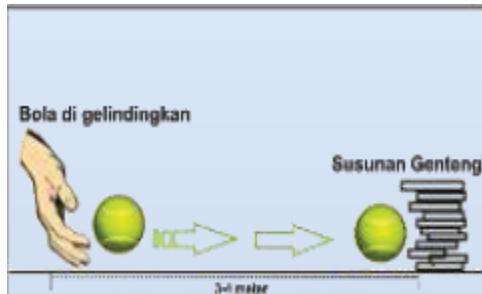
TUGAS

1. Doni sedang memperhatikan Lita menyusun genting untuk bermain *manatahan*. Susunan genting itu terdiri dari tiga genting dengan massa yang berbdeda. Susunan genting tersebut dalam kondisi setimbang. Doni tiba-tiba teringat tentang pasangan gaya yang ada pada interaksi antar dua benda.



Berdasarkan pendekatan hukum newton, berikan argumentasi anda tentang pasangan-pasangan gaya aksi-reaksi pada tumpukan genting di atas. Mengapa gaya-gaya tersebut dikatakan pasangannya? (disertai dengan rumusan dan konsep)

2. Pada percobaan untuk menyelidiki hubungan antara percepatan, gaya, dan massa pada benda. Ardi menggunakan susunan genting kemudian Ardi menggelindikan bola ke susunan genting tersebut. Pada pelemparan pertama, Ardi menggunakan bola kasti dan melemparnya dengan kuat pada jarak 3 meter dari susunan genting. Pada pelemparan kedua, Ardi masih menggunakan bola kasti dan melemparnya dengan kuat pada jarak 4 meter dari susunan genting.



Berdasarkan cerita tersebut di atas, Apakah percobaan tersebut dapat menyelidiki hubungan antara percepatan, gaya, dan massa pada benda? Jika bisa, maka formulasikan rumusan masalah untuk percobaan yang dilakukan Ardi?

3. Jika diketahui massa total anak laki-laki A dan B masing-masing adalah 25 kg dan koefisien gesekan antara pelepah pinang dan tanah adalah 0,2 dan 0,4. Seorang anak perempuan menarik pelepah pinang dengan gaya 100 N (Anggap sudut antara gaya dan tanah adalah nol = F pada arah horizontal), maka:



- a. Gambarkan komponen gaya-gaya yang bekerja pada permainan tarikan pelepah Pinang?
 - b. Apakah pelepah pinang akan bergerak?
 - c. Hitung gaya gesek antara pelepah pisang dengan tanah?
4. Farid akan bermain *manatahan* bersama adiknya. Saat adiknya melemparkan bola ketumpukan genting, tumpukan genting hanya bergoyang sedikit, sedangkan bola terpental ke arah yang lain.



Berdasarkan narasi tersebut, berikan argumentasi anda yang disertai konsep mengapa tumpukan genting tersebut tidak rubuh saat dikenai gaya dari bola? Lakukan dengan pendekatan hukum Newton.

5. Berikut disajikan data pemain lomba tarik tambang.

Kelompok A	Massa	Kelompok B	Massa
Orang 1	65	Orang 1	60
Orang 2	70	Orang 2	80
Orang 3	75	Orang 3	80

Pada saat pertandingan tim A menarik ke kiri dengan gaya 1000 N dan tim B 1250 N ke arah kanan. Jika koefisien

gesek kinetis kaki dan tanah adalah 0,2, maka Tim manakah yang akan memenangkan perlombaan tarik tambang tersebut? (Lakukan analisis dengan menggunakan Hukum II Newton)

6. Berapa kecepatan dan percepatan sentripetal Bumi saat mengorbit Matahari setiap tahun? Berapakah gaya sentripetal di Bumi (massa $6,0 \times 10^{24}$ kg)?

BAB III

SISTEM GERAK PADA HEWAN

Seekor kuda dengan kecepatan penuh adalah contoh luar biasa dari seekor hewan yang dilahirkan untuk berlari. Kaki kuda terdiri dari elemen kerangka yang sama dengan vertebrata lainnya, termasuk manusia. Akan tetapi karena nenek moyang kuda modern berevolusi di dataran terbuka dan sabana, lima jari kaki asli hilang atau berkurang, sampai setiap kaki bertumpu pada satu kuku yang tahan aus. Kuku dipisahkan dari tulang kering oleh tulang panjang yang disebut meriam, versi tulang yang sangat dimodifikasi yang merupakan bagian dari kaki kebanyakan tetrapoda lainnya. Jadi, sendi yang tampak seperti lutut kuda sebenarnya sama dengan pergelangan tangan atau pergelangan kaki kita. Dengan kaki yang panjang dan ramping ini, seekor kuda dapat menempuh jarak sejauh 7 m (23 kaki) dalam satu langkah.



Gambar 3.1 Seekor Kuda

Pada kebanyakan hewan, termasuk manusia,

keuntungan dari anggota tubuh yang panjang diimbangi dengan penambahan berat otot yang dibutuhkan untuk menggerakkannya — otot sangat berat. Tapi tulang meriam, seperti tangan dan kaki kita, hanya membawa tendon ringan. Otot lain pada kuda berkurang atau didistribusikan ulang juga. Misalnya, bahu dan pinggul kita memiliki sendi bola-dan-soket, yang memungkinkan anggota badan berputar dengan bebas tetapi juga membutuhkan otot yang stabil. Kuda memiliki sendi engsel di bahu dan pinggulnya. Sendi engsel menekuk dalam satu bidang, seperti lutut kita, dan otot kurang stabil. Kebanyakan hewan memiliki kemampuan untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Beberapa, seperti kuda, bergerak cepat. Lainnya — siput dan kura-kura, misalnya — sangat lamban. Mode perjalanan juga beragam. Selain hewan yang berlari atau berjalan, ada hewan yang melata, melompat, terbang, atau berenang. Hampir semuanya adalah variasi dari tema umum: otot yang bekerja sama dengan sistem rangka.

Indikator

1. Mendeskripsikan Jenis pergerakan hewan dan system rangka yang mendukungnya
2. Mendeskripsikan jenis kerangka dalam mendukung pergerakan
3. Mendeskripsikan system kerangka manusia, otot dan sendi yang mendukung pergerakan manusia
4. Mendeskripsikan gerakan otot dan energy yang dibutuhkannya dalam mendukung pergerakan

Materi Pembelajaran

1. Penggerak membutuhkan energi untuk mengatasi gesekan dan gravitasi

Gerak adalah salah satu ciri hewan. Bahkan hewan yang menempel pada suatu objek pun menggerakkan bagian tubuhnya. Semua jenis pergerakan hewan memiliki kesamaan yang mendasarinya. Pada tingkat sel, setiap bentuk gerakan melibatkan untaian protein yang bergerak melawan satu sama lain, sebuah proses yang menghabiskan energi. Dalam kontraksi sel otot dan gerakan amoeboid, sistem seluler didasarkan pada mikrofilamen. Mikrotubulus adalah komponen utama silia dan flagela.

Sebagian besar hewan sepenuhnya bergerak. Penggerak — perjalanan aktif dari satu tempat ke tempat lain — membutuhkan energi untuk mengatasi dua gaya yang cenderung membuat hewan tetap diam: gesekan dan gravitasi. Kepentingan relatif kedua gaya ini bervariasi, tergantung pada lingkungan. Air itu mempunyai rapat jenis yang mengakibatkan gesekan yang cukup besar bagi tubuh hewan yang bergerak melewatinya. Jadi hewan air harus mengeluarkan energi untuk mengatasi gesekan. Gravitasi tidak terlalu menjadi masalah, karena air menopang sebagian besar atau seluruh berat hewan. Di darat, gravitasi adalah tantangan utamanya — udara tidak menopang tubuh hewan. Saat hewan darat berjalan, berlari, atau melompat, otot kakinya mengeluarkan energi untuk mendorong dan mencegahnya jatuh. Di sisi lain, udara juga memberikan sedikit hambatan terhadap hewan yang bergerak melewatinya, setidaknya dengan kecepatan sedang. Gesekan terbatas pada titik-titik kontak antara tubuh hewan dan tanah.

Berenang

Hewan berenang dengan berbagai cara. Banyak serangga, misalnya, berenang seperti kita, menggunakan kaki mereka sebagai dayung untuk mendorong air. Cumi-cumi, kerang, dan beberapa ubur-ubur digerakkan oleh jet, mengambil air dan menyemburkannya dengan semburan. Ikan berenang dengan menggerakkan tubuhnya dan ekor dari sisi ke sisi (Gambar 3.2). Paus dan mamalia air lainnya bergerak dengan menggoyangkan tubuh dan ekornya dari atas ke bawah. Bentuk yang ramping dan ramping, seperti anjing laut, porpoise, penguin, dan banyak ikan, merupakan adaptasi yang membantu berenang cepat.



Gambar 3.2 Ikan Berenang

Berjalan dan Berlari

Seekor hewan berjalan menggerakkan setiap kakinya secara bergantian, mengatasi gesekan antara kaki dan tanah dengan setiap langkahnya. Untuk menjaga keseimbangan, hewan berkaki empat biasanya menjaga tiga kaki di tanah setiap saat saat berjalan perlahan. Hewan bipedal (berkaki dua), seperti burung dan manusia, kurang stabil di darat dan paling tidak satu kaki tetap berada di tanah saat berjalan.

Hewan berkaki empat yang sedang berlari dapat menggerakkan dua atau tiga kaki dengan setiap langkahnya. Pada beberapa gaya berjalan, semua kakinya mungkin terangkat dari tanah secara bersamaan (Gambar 3.3). Pada kecepatan lari, momentum, lebih dari kontak kaki, menstabilkan posisi tubuh, seperti halnya sepeda yang bergerak tetap tegak.



Gambar 3.3 Seekor Anjing Berlari dengan Keempat kakinya terangkat

Melompat

Beberapa hewan — misalnya, kanguru — melakukan perjalanan terutama dengan melompat, mode penggerak khusus yang juga berevolusi secara independen pada beberapa hewan pengerat. Otot besar di kaki belakang kanguru menghasilkan tenaga yang besar. Tendon (yang menghubungkan otot ke tulang) di kaki juga menyimpan energi untuk sementara saat kanguru mendarat — seperti pegas pada tongkat pogo. Semakin tinggi ia melompat, semakin kencang gulungan pegas saat tongkat pogo mendarat, dan semakin besar ketegangan pada tendonnya saat kanguru mendarat. Dalam kedua kasus tersebut, energi yang tersimpan tersedia untuk lompatan berikutnya. Bagi kanguru, ketegangan di kakinya adalah pendorong energi yang

bebas biaya mengurangi jumlah total energi yang dikeluarkan hewan untuk bepergian. Saat istirahat, kanguru duduk tegak dengan ekor dan kedua kaki belakangnya menyentuh tanah. Posisi ini menstabilkan tubuh hewan dan biaya perawatannya sedikit.

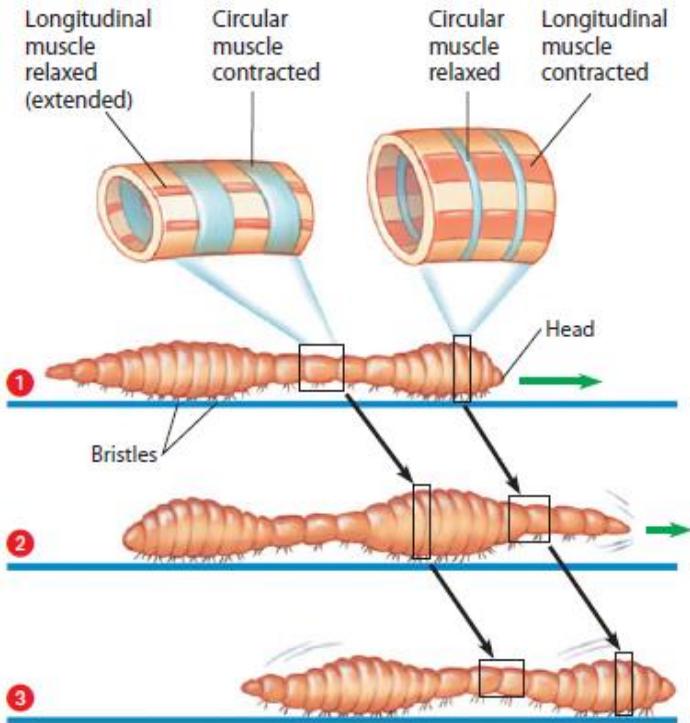
Analogi tongkat pogo juga berlaku untuk banyak hewan darat lainnya. Kaki serangga, kuda, atau manusia, misalnya, menahan beberapa pegas selama berjalan atau berlari, meskipun lebih sedikit dari kaki kanguru yang melompat.

Melata

Hewan yang tidak memiliki anggota tubuh, atau anggota tubuh yang sangat pendek, menyeret tubuhnya di tanah dengan gerakan melata. Karena sebagian besar tubuh hewan bersentuhan dengan tanah, energinya sebagian besar dikeluarkan untuk mengatasi gesekan bukan gravitasi. Banyak ular melata dengan cepat dengan menggoyangkan seluruh tubuh dari sisi ke sisi. Dibantu oleh sisik besar yang dapat digerakkan di bagian bawahnya, tubuh ular mendorong ke tanah, mendorong hewan itu maju. Ular boa dan ular sanca merayap ke depan dalam garis lurus, didorong oleh otot yang mengangkat sisik perut dari tanah, memiringkannya ke depan, dan kemudian mendorongnya ke belakang ke tanah.

Cacing tanah melata dengan gerakan peristaltik, sejenis gerakan yang dihasilkan oleh gelombang berirama dari kontraksi otot yang berpindah dari kepala ke ekor. Untuk bergerak dengan gerakan peristaltik, hewan membutuhkan satu set otot yang memanjangkan tubuh dan satu set otot yang memendekkannya. Juga diperlukan cara untuk

menambatkan tubuhnya ke tanah dan kerangka hidrostatis, yang akan kita diskusikan lebih lanjut di sub bab 2. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.4, kontraksi otot melingkar, yang mengelilingi lingkaran tubuh, menyempitkan dan memanjang beberapa daerah segmen berisi cairan cacing tanah yang merayap. Pada saat yang sama, otot longitudinal yang menjalankan panjang tubuh memendek dan menebalkan daerah lain. Bulu sikat yang kaku di bagian bawah bodi mencengkeram tanah dan memberikan traksi, seperti paku pada sepatu track. (Jika Anda menggerakkan jari-jari Anda di sepanjang perut cacing tanah, bulu-bulunya terasa seperti kumis janggut.) Pada posisi 1, ruas di kepala dan ujung ekor cacing pendek dan tebal (otot longitudinal berkontraksi) dan berlabuh ke tanah dengan bulu. Tepat di belakang kepala, sekelompok segmen tipis dan memanjang (otot melingkar berkontraksi), dengan bulu yang terangkat dari tanah. Pada posisi 2, kepala sudah bergerak ke depan karena otot melingkar di ruas kepala telah berkontraksi. Segmen tepat di belakang kepala dan dekat ekor sekarang tebal dan ditambatkan oleh bulu, sehingga mencegah kepala tergelincir ke belakang. Di posisi 3, segmen kepala ditebalkan lagi dan berlabuh ke tanah dalam posisi barunya, jauh di depan titik awalnya. Segmen belakang cacing sekarang melepaskan cengkeramannya di tanah dan ditarik ke depan.

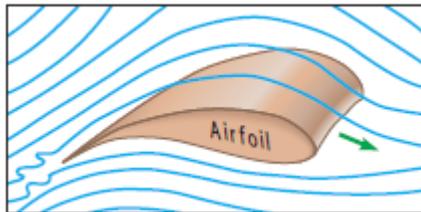


Gambar 3.4 Seekor cacing tanah melata dengan gerakan peristaltik

Terbang

Banyak filum hewan termasuk spesies yang melata,

berjalan, atau berlari, dan hampir semua filum termasuk perenang. Tetapi terbang hanya berevolusi pada beberapa kelompok hewan: serangga, reptil (termasuk burung), dan, di antara mamalia, kelelawar. Sekelompok reptil terbang besar punah jutaan tahun lalu, meninggalkan burung dan kelelawar sebagai satu-satunya vertebrata terbang.



Gambar 3.5 Seekor Elang yang terbang dengan sayap berbentuk airfoil

Agar hewan bisa terbang, sayapnya harus mengembangkan “gaya angkat” yang cukup untuk sepenuhnya mengatasi tarikan gravitasi. Kunci penerbangan adalah bentuk sayap. Semua jenis sayap, termasuk pesawat terbang, adalah airfoil — struktur yang bentuknya mengubah arus udara sehingga menimbulkan gaya angkat. Seperti yang ditunjukkan Gambar 3.5, sebuah airfoil memiliki tepi depan yang lebih tebal dari tepi belakangnya. Ia juga memiliki permukaan atas yang agak cembung dan permukaan bawah yang pipih atau cekung. Bentuk ini membuat udara yang melewati sayap bergerak lebih jauh daripada udara yang lewat

di bawah sayap. Akibatnya, molekul udara ditempatkan lebih jauh di atas sayap daripada di bawahnya, dan tekanan udara di bawah sayap lebih besar. Perbedaan tekanan ini memberikan daya angkat untuk terbang. Burung dapat mencapai kecepatan tinggi dan menempuh jarak yang sangat jauh. Swift, yang bisa terbang 170 km / jam (105 mph), adalah yang tercepat. Burung yang bermigrasi paling jauh adalah Dara Kutub Utara, yang terbang bolak-balik antara Kutub Utara dan Selatan setiap tahun.

Sistem otot hewan memberikan kekuatan untuk mengatasi gesekan dan gravitasi. Namun, gerakan dan penggerak dihasilkan dari kolaborasi antara otot dan sistem rangka. Di modul berikutnya, Anda akan mempelajari bagaimana sistem kerangka terlibat dalam gerakan. Anda juga akan mempelajari tentang beberapa fungsi lain dari sistem kerangka.

2. Fungsi kerangka dalam mendukung pergerakan, dan perlindungan

Kerangka memiliki banyak fungsi. Seekor hewan tidak dapat bergerak tanpa kerangka, dan sebagian besar hewan darat akan melorot karena berat badannya sendiri jika tidak memiliki kerangka untuk menopangnya. Bahkan hewan di air akan menjadi massa tak berbentuk tanpa kerangka kerangka untuk mempertahankan bentuknya. Kerangka juga dapat melindungi bagian lunak hewan. Misalnya, tengkorak vertebrata melindungi otak, dan tulang rusuk membentuk sangkar di sekitar jantung dan paru-paru.

Ada tiga jenis kerangka utama: kerangka hidrostatis,

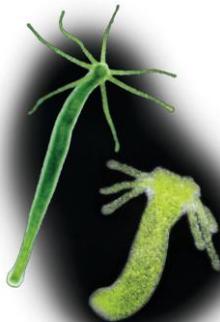
Eksoskeletons, dan Endoskeleton. Ketiga jenis tersebut memiliki banyak fungsi.

Kerangka Hidrostatik

Kerangka hidrostatik terdiri dari cairan yang ditahan di bawah tekanan dalam kompartemen tubuh tertutup. Ini sangat berbeda dari kerangka yang lebih dikenal yang terbuat dari bahan keras. Meskipun demikian, kerangka hidrostatik membantu melindungi bagian tubuh lain dengan melindunginya dari guncangan. Ini juga memberi bentuk tubuh dan memberikan dukungan untuk aksi otot. Cacing tanah memiliki rongga tubuh bagian dalam yang berisi cairan, atau selom. Sebagai hewan yang tersegmentasi, cacing tanah memiliki selomnya yang terbagi menjadi beberapa kompartemen terpisah. Cairan di segmen ini berfungsi sebagai kerangka hidrostatik, dan aksi otot melingkar dan longitudinal yang bekerja melawan kerangka hidrostatik menghasilkan gerakan peristaltik. Cnidaria, seperti hydra, juga memiliki kerangka hidrostatik. Hydra (Gambar 3.6), misalnya, memiliki sel-sel kontraktile di dinding tubuhnya yang memungkinkannya mengubah bentuk tubuhnya dengan memberikan tekanan pada rongga gastrovaskular berisi air.

Ketika seekor hydra menutup mulutnya dan sel-sel kontraktile yang mengelilingi rongga gastrovaskularnya berkontraksi, tubuh memanjang, seperti cacing tanah memanjang ketika otot-otot melingkar berkontraksi (Gambar 3.6, kiri). Tindakan meremas juga memperpanjang tentakel. Hydra sering duduk dalam posisi ini selama berjam-jam menunggu mangsa seperti cacing kecil atau krustasea yang

dapat ditangkap dengan tentakelnya. Jika hydra terganggu, mulutnya terbuka, memungkinkan air mengalir keluar. Pada saat yang sama, sel-sel kontraktif yang tersusun secara longitudinal di dalam dinding tubuh berkontraksi, menyebabkan tubuh memendek (Gambar 3.6, kanan).



Gambar 3.6 Kerangka hidrostatik hydra pada dua keadaan

Kerangka hidrostatik bekerja dengan baik untuk banyak hewan air dan untuk hewan darat yang merangkak atau menggali dengan gerakan peristaltik. Kebanyakan hewan dengan kerangka hidrostatik lembut dan fleksibel. Sebagai tambahan untuk memperluas tubuh dan tentakelnya, misalnya, seekor hydra dapat mengembangkan tubuhnya di sekitar mangsa yang tertelan yang lebih besar dari rongga gastrovaskular. Cacing tanah dapat menggali melalui tanah karena sifatnya yang fleksibel dan memiliki kerangka hidrostatik. Namun, kerangka hidrostatik tidak dapat mendukung bentuk penggerak terestrial di mana tubuh hewan ditahan dari tanah, seperti berjalan.

Eksoskeletons

Berbagai hewan air dan darat memiliki kerangka eksternal yang kaku, atau eksoskeleton. Kerangka luar merupakan karakteristik dari filum Arthropoda, kelompok yang mencakup serangga, laba-laba, dan krustasea seperti kepiting. Eksoskeleton arthropoda adalah lapisan keras yang terdiri dari lapisan protein dan kitin polisakarida. Otot menempel pada kenop dan pelat di permukaan bagian dalam kerangka luar. Pada persendian kaki, kerangka luar tipis dan fleksibel, memungkinkan gerakan. Jika Anda pernah makan kaki kepiting, Anda memecahkan kerangka luar untuk mengekstrak otot yang enak di dalamnya. Karena kerangka luar terdiri dari bahan mati, ia tidak tumbuh bersama hewan tersebut. Ini harus dilepaskan (diganti kulitnya) dan diganti dengan kerangka luar yang lebih besar dengan interval untuk memungkinkan pertumbuhan hewan (Gambar 3.7). Bergantung pada spesiesnya, kebanyakan serangga berganti kulit dari empat hingga delapan kali sebelum mencapai ukuran dewasa. Beberapa spesies serangga dan artropoda tertentu lainnya, seperti lobster dan kepiting, berganti kulit dengan interval sepanjang hidup.



Gambar 3.7 Eksoskeleton dari Kepiting

Artropoda tidak pernah tanpa kerangka luar. Misalnya, kepiting yang baru berganti kulit ditutupi oleh kerangka luar

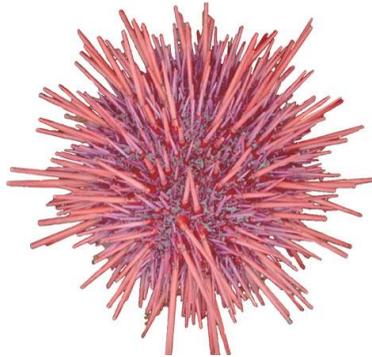
yang lembut dan elastis yang terbentuk di bawah kerangka lama. Segera setelah molting, kepiting melebarkan tubuhnya dengan cara menelan udara atau air. Eksoskeleton barunya kemudian mengeras dalam posisi melebar, dan hewan tersebut memiliki ruang untuk pertumbuhan tambahan. Jika Anda pernah makan kepiting cangkang lunak, Anda memanfaatkan waktu singkat ini saat kerangka luar yang baru cukup empuk untuk dikunyah. Seperti yang dapat Anda bayangkan, arthropoda yang baru berganti kulit sangat rentan terhadap predasi. Selain lapis baja yang lemah, ia biasanya kurang bergerak, karena eksoskeleton yang lembut tidak dapat mendukung aksi penuh ototnya.

Cangkang moluska seperti kerang, siput, dan cowry yang mungkin Anda temukan di pantai juga merupakan eksoskeletons. Berbeda dengan eksoskeleton arthropoda chitinous, cangkang moluska terbuat dari mineral, kalsium karbonat. Mantel, perpanjangan seperti lembaran dari dinding tubuh hewan, mengeluarkan cangkangnya. Saat moluska tumbuh, ia tidak berganti kulit; melainkan memperbesar diameter cangkangnya dengan menambah tepi luarnya.

Endoskeleton

Endoskeleton terdiri dari elemen pendukung keras atau kasar yang terletak di antara jaringan lunak hewan. Spons, misalnya, diperkuat oleh kerangka serat protein yang kuat atau oleh partikel yang mengandung mineral. Biasanya berukuran mikroskopis dan berujung tajam, partikel tersebut terdiri dari bahan anorganik seperti garam kalsium atau silika.

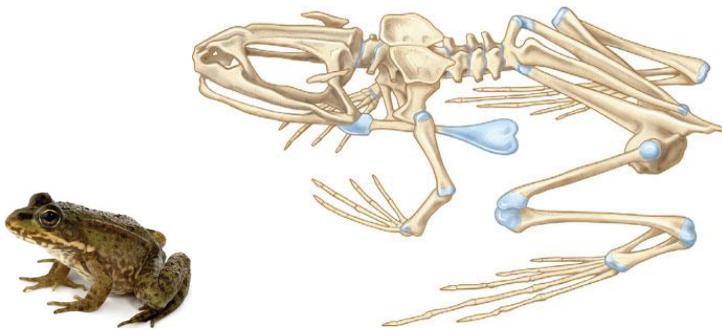
Bintang laut, landak laut, dan sebagian besar echinodermata lainnya memiliki kerangka endoskopi lempengan keras di bawah kulitnya. Pada landak laut yang hidup, yang Anda lihat hanyalah tulang punggung yang bisa digerakkan, yang melekat pada endoskeleton oleh otot. (Gambar 3.8). Landak laut yang mati tanpa duri menunjukkan lempengan yang membentuk kerangka kerangka yang kaku (Gambar 3.8, kanan).



Gambar 3.8 Landak laut yang hidup (kiri) dan endoskeletonnya (kanan)

Vertebrata memiliki endoskeleton yang terdiri dari tulang rawan atau kombinasi tulang rawan dan tulang. Salah satu garis keturunan utama vertebrata, hiu, memiliki tulang rawan

endoskeleton yang diperkuat dengan kalsium. Gambar 3.9 menunjukkan kondisi vertebrata yang lebih umum. Tulang membentuk sebagian besar kerangka katak, seperti halnya pada ikan bertulang dan vertebrata darat. Kerangka katak dan kerangka kebanyakan vertebrata lainnya juga mencakup beberapa tulang rawan (berwarna biru pada gambar), terutama di area yang membutuhkan kelenturan. Selanjutnya, mari kita lihat lebih dekat kerangka endoskeleton.



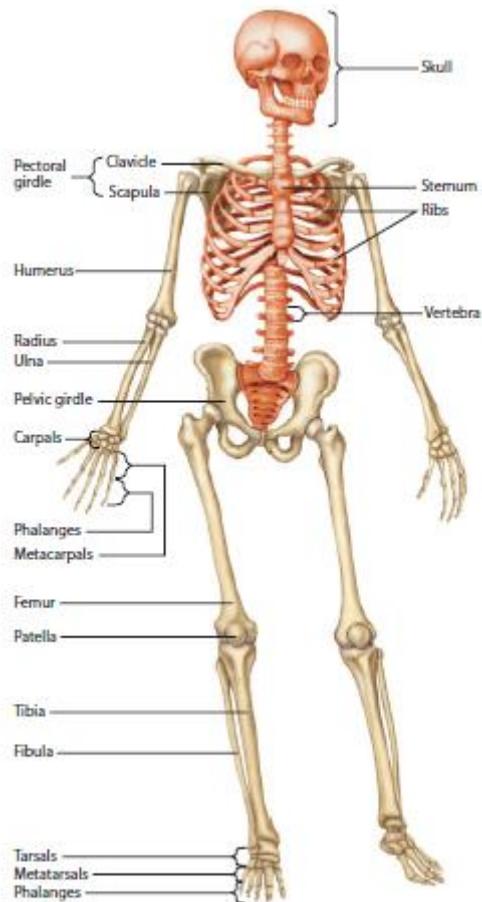
Gambar 3.9 Tulang (putih tulang) dan tulang rawan (biru) di endoskeleton vertebrata: katak

3. Kerangka Vertebrata

Sistem kerangka vertebrata memberikan dukungan struktural dan sarana penggerak yang memungkinkan tetrapoda menjajah daratan. Evolusi selanjutnya menghasilkan beragam kelompok hewan: amfibi, reptil (termasuk burung), dan mamalia. Masing-masing kelompok tersebut memiliki bentuk tubuh yang beragam yang kerangka dibuat dari versi modifikasi dari bagian yang sama. Bahkan kerangka paus dan lumba-lumba, mamalia yang berevolusi dari nenek moyang penghuni darat, adalah variasi pada tema

yang sama.

Semua vertebrata memiliki kerangka aksial (oranye pada Gambar 3.10) yang menopang sumbu, atau batang tubuh. Kerangka aksial terdiri dari tengkorak, menutupi dan melindungi otak; kolom tulang belakang (tulang punggung), menutupi sumsum tulang belakang; dan, pada kebanyakan vertebrata, tulang rusuk mengelilingi paru-paru dan jantung.



Gambar 3.10 Kerangka Manusia

Tulang punggung, ciri khas vertebrata, terdiri dari serangkaian tulang individu, tulang belakang, bergabung dengan bantalan tulang rawan yang kuat yang dikenal sebagai cakram. Jumlah vertebra bervariasi antar spesies. Ular sanca memiliki 400, sedangkan manusia dewasa memiliki 24. Semua

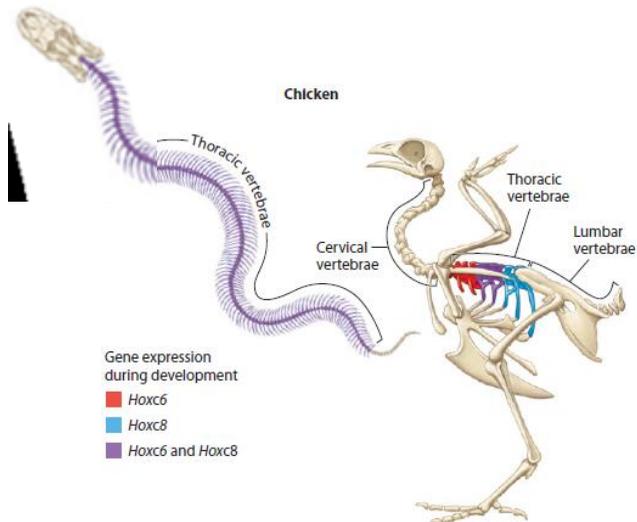
ruas memiliki struktur dasar yang sama, dengan sedikit variasi yang mencerminkan posisi tiap ruas pada tulang punggung. Ahli anatomi membagi kolom vertebral menjadi beberapa bagian yang ditunjukkan pada Gambar 3.11: serviks (leher), yang menopang kepala; toraks (dada), yang membentuk persendian dengan tulang rusuk; lumbar (punggung bawah); sakral (antara pinggul); dan coccygeal (ekor). Pada manusia, vertebra sakralis menyatu menjadi satu tulang yang disebut sakrum. Vertebra tulang ekor kecil kami sebagian menyatu menjadi tulang ekor atau "tulang ekor".



Gambar 3.11 Tulang punggung manusia, memperlihatkan kelompok-kelompok tulang belakang

Kebanyakan vertebrata juga memiliki **kerangka apendikular** (cokelat pada Gambar 3.10), yang terdiri dari tulang pelengkap dan tulang yang mengikat pelengkap pada kerangka aksial. Pada vertebrata darat, korset dada (bahu) dan korset panggul menyediakan dasar penyangga tulang kaki depan dan tungkai belakang. Versi modifikasi dari tulang yang

sama ditemukan di semua tungkai vertebrata, baik itu lengan, kaki, sirip, atau sayap. Variasi anggota tubuh ini melengkapi vertebrata untuk setiap bentuk penggerak.



Gambar 3.12 Ekspresi dua gen Hox dalam python (kiri) dan ayam (kanan)

Beberapa kelompok vertebrata, termasuk ular, kehilangan anggota tubuh mereka selama evolusi. Bagaimana ini bisa terjadi? Identitas vertebra dibentuk selama perkembangan embrionik dengan pola gen kontrol utama (homeotik) yang diekspresikan dalam somit. Somit adalah blok jaringan embrionik yang membentuk kolom vertebral. Dua dari gen homeotik yang mengarahkan diferensiasi vertebra adalah Hoxc6 dan Hoxc8. Gen ini terkait dengan perkembangan vertebra toraks, yang menopang tulang rusuk. Gambar 3.12

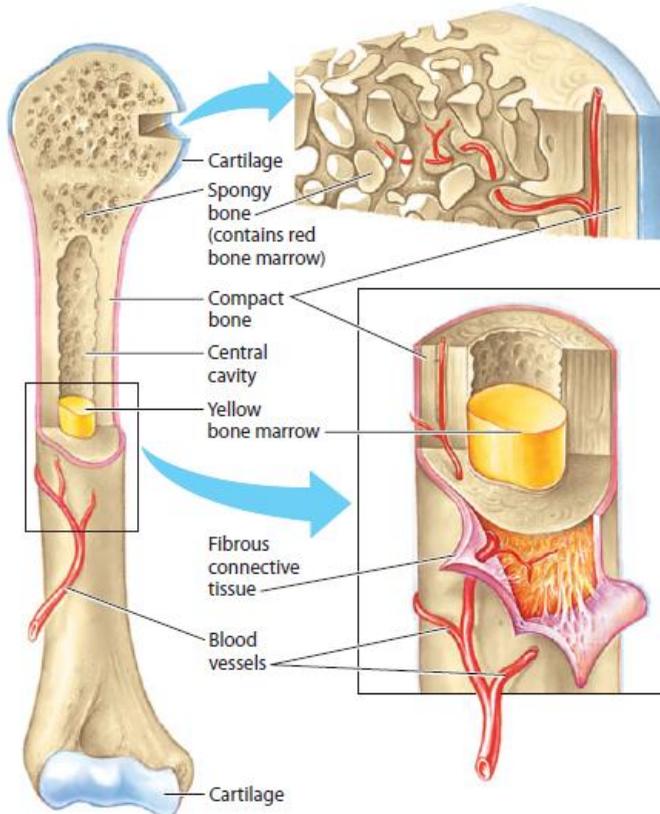
menunjukkan kisaran vertebra dibentuk oleh somit yang mengekspresikan Hoxc6 (merah), Hoxc8 (biru), atau keduanya (ungu) pada ayam dan ular sanca. Pada python, baik Hoxc6 dan Hoxc8 diekspresikan di semua somit untuk hampir seluruh panjang kolom vertebral. Akibatnya, vertebra toraks bantalan tulang rusuk pertama terletak tepat di posterior kepala. Ular sanca tidak memiliki tulang belakang leher. Ayam, sebaliknya, memiliki beberapa vertebra serviks, berakhir pada titik di mana ekspresi Hoxc6 — dan vertebra toraks — dimulai.

Selama evolusi ular, mutasi pada segmen DNA yang mengontrol ekspresi Hoxc6 dan Hoxc8 mengubah vertebra serviks menjadi toraks. Pada semua vertebrata, tungkai depan berasal dari batas antara vertebra serviks dan toraks. Karena posisi ini tidak ada pada ular, maka kaki depan tidak terbentuk.

4. Tulang

Tulang merupakan organ kompleks yang terdiri dari beberapa jenis jaringan hidup yang lembab. Gambar 3.13 menunjukkan humerus manusia (tulang lengan atas). Selembar jaringan ikat fibrosa, ditunjukkan dengan warna merah muda (paling terlihat pada pembesaran di kanan bawah), menutupi sebagian besar permukaan luar. Jaringan ini membantu membentuk tulang baru jika terjadi patah tulang. Selembar tulang rawan tipis (biru) membentuk permukaan seperti bantalan untuk persendian yang dapat digerakkan, melindungi ujung tulang saat mereka meluncur satu sama lain. Tulang itu sendiri mengandung sel-sel hidup yang mengeluarkan materi di sekitarnya, atau matriks. Matriks

tulang terdiri dari serat fleksibel dari kolagen protein dengan kristal dari mineral yang terbuat dari kalsium dan fosfat terikat padanya. Kolagen membuat tulang tetap fleksibel dan tidak rapuh, sedangkan matriks mineral keras menahan kompresi.



Gambar 3.13 Struktur dari Tulang Lengan

Batang tulang panjang ini terbuat dari tulang kompak, istilah yang mengacu pada strukturnya yang padat. Perhatikan bahwa tulang kompak mengelilingi rongga tengah. Rongga tengah berisi sumsum tulang kuning, yang sebagian besar

menyimpan lemak yang dibawa ke tulang oleh darah. Ujung, atau kepala, tulang memiliki lapisan luar tulang padat dan lapisan dalam tulang spons, dinamai demikian karena bersarang madu dengan rongga kecil. Rongga berisi sumsum tulang merah (tidak ditunjukkan pada gambar), jaringan khusus yang memproduksi sel darah kita.

Seperti semua jaringan hidup, sel tulang melakukan metabolisme. Pembuluh darah yang memanjang melalui saluran di tulang mengangkut nutrisi dan hormon pengatur ke selnya dan membuang bahan limbah. Saraf yang berjalan sejajar dengan pembuluh darah membantu mengatur lalu lintas bahan antara tulang dan darah.

Tulang yang sehat menahan stres dan sembuh dari cedera

Tulang terus-menerus mengalami stres saat kita menjalani kehidupan sehari-hari; olahraga atau kerja fisik menyebabkan stres tambahan. Kelelahan tulang yang berlebihan dapat menyebabkan apa yang disebut fraktur stres, retakan garis rambut pada tulang, sama seperti akumulasi sejumlah kecil tekanan pada logam dapat menyebabkan kerusakan. Misalnya, saat Anda membengkokkan penjepit kertas berulang kali, logam akan lelah dan akhirnya terkunci. Namun, tidak seperti logam, tulang terdiri dari jaringan dinamis yang hidup. Sel terus menerus menghilangkan matriks tulang lama dan menggantinya dengan bahan baru. Fraktur stres hanya terjadi jika proses perbaikan ini tidak dapat mengimbangi jumlah stres yang ditempatkan pada tulang. Seorang atlet biasanya menjadi sadar akan masalahnya dan dapat memberikan waktu untuk penyembuhan, tetapi pada kuda

pacu, kerusakan stres mungkin tidak diketahui sampai tulang yang lelah tiba-tiba patah saat perlombaan.

Tulang juga bisa patah saat terkena kekuatan eksternal yang melebihi ketahanannya. Rata-rata orang Amerika akan mematahkan dua tulang selama hidupnya, paling sering lengan bawah atau, bagi orang di atas 75 tahun, pinggul. Biasanya, patah tulang jenis ini terjadi karena benturan yang tiba-tiba, seperti jatuh atau kecelakaan mobil. Mengenakan alat pelindung yang sesuai, seperti sabuk pengaman, helm, atau bantalan, dapat melindungi tulang Anda dari trauma kekuatan tinggi.

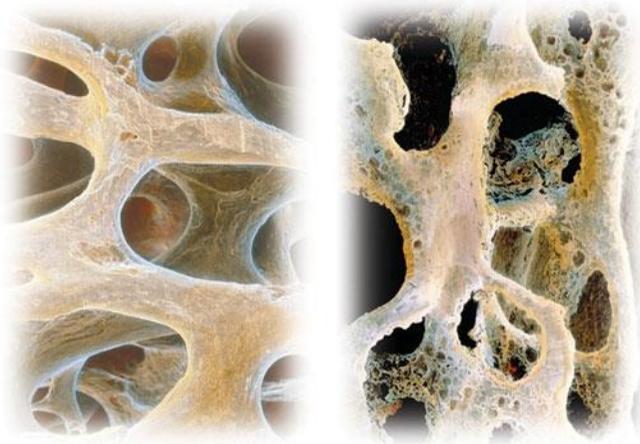
Untungnya bagi orang yang aktif, patah tulang bisa sembuh sendiri. Seorang dokter membantu proses tersebut dengan mengembalikan tulang ke posisi aslinya dan kemudian melumpuhkannya sampai sel-sel pembangun tulang normal tubuh dapat memperbaiki patah. Belat atau gips digunakan untuk melindungi area yang cedera dan mencegah gerakan. Dalam kasus yang parah, patah tulang dapat diperbaiki melalui pembedahan dengan memasukkan pelat, batang, dan / atau sekrup yang menahan pecahan (Gambar 3.15). Namun, dalam kasus tertentu, tulang yang cedera atau sakit parah tidak dapat diperbaiki dan harus diganti. Sendi pinggul yang patah, misalnya, dapat diganti dengan yang terbuat dari titanium atau paduan kobalt buatan. Para peneliti baru-baru ini mengembangkan metode baru penggantian tulang, termasuk cangkok (dari pasien atau dari mayat) dan penggunaan polimer sintetis.



Gambar 3.15 Foto rontgen kaki patah (kiri) dan kaki yang sama setelah tulang dipasang dengan pelat dan sekrup (kanan)

Risiko patah tulang meningkat jika tulang keropos dan lemah. Gambar 3.16 membandingkan jaringan tulang yang sehat (kiri) dan tulang yang terkikis oleh osteoporosis (kanan). Osteoporosis ditandai dengan massa tulang yang rendah dan kerusakan struktural jaringan tulang. Kelemahan ini muncul dari ketidakseimbangan dalam proses pemeliharaan tulang — kerusakan material tulang melebihi kecepatan penggantian. Karena mekanisme alami perawatan tulang merespons penggunaan tulang, olahraga menahan beban seperti berjalan atau berlari memperkuat tulang. Di sisi lain, tidak digunakan menyebabkan tulang menjadi lebih tipis. Tulang yang kuat

juga membutuhkan asupan kalsium makanan yang cukup dan vitamin D yang cukup, yang keduanya penting untuk penggantian tulang.



Gambar 3.16 Jaringan tulang spons yang sehat (kiri) dan tulang yang rusak karena osteoporosis (kanan)

Sampai saat ini, osteoporosis sebagian besar dianggap sebagai masalah wanita setelah menopause; estrogen berkontribusi pada pemeliharaan tulang normal. Tetapi sementara osteoporosis tetap menjadi masalah kesehatan yang serius bagi wanita yang lebih tua, hal itu juga menjadi perhatian pria dan orang yang lebih muda. Dokter telah mencatat peningkatan dramatis pada patah tulang pada anak-anak dan remaja dalam beberapa tahun terakhir. Banyak ilmuwan percaya bahwa ini adalah hasil dari kurang berolahraga dan mendapatkan lebih sedikit kalsium dalam makanan dan lebih sedikit vitamin D dari paparan sinar matahari. Pencegahan osteoporosis di tahun-tahun

berikutnya dimulai dengan olahraga dan kecukupan kalsium dan vitamin D sementara kepadatan tulang masih meningkat (sampai sekitar usia 30).

Kebiasaan gaya hidup lainnya, seperti merokok, juga dapat menyebabkan osteoporosis. Ada juga komponen genetik yang kuat; wanita muda yang ibu atau neneknya menderita osteoporosis harus sangat memperhatikan kesehatan tulang. Perawatan untuk osteoporosis termasuk suplemen kalsium dan vitamin D dan obat-obatan yang memperlambat pengeroposan tulang.

Sendi memungkinkan berbagai jenis gerakan

Sebagian besar keserbagunaan kerangka vertebrata berasal dari persendiannya. Pita jaringan ikat fibrosa yang kuat yang disebut ligamen menahan tulang sendi yang dapat digerakkan. Sendi bola-dan-soket, seperti yang ditemukan di mana humerus bergabung dengan korset dada (Gambar 3.17, kiri), memungkinkan kita untuk memutar lengan dan kaki dan menggerakkannya dalam beberapa bidang. Sendi bola-dan-soket juga menghubungkan tulang paha ke korset panggul. Sambungan engsel memungkinkan gerakan dalam satu bidang, seperti halnya engsel pada pintu memungkinkannya untuk membuka dan menutup. Siku (ditunjukkan pada Gambar 3.17, tengah) dan lutut adalah sendi engsel. Sendi engsel sangat rentan terhadap cedera dalam olahraga seperti bola voli, bola basket, dan tenis yang membutuhkan putaran cepat, yang dapat memelintir sendi ke samping. Sendi poros memungkinkan kita untuk memutar lengan bawah pada siku (Gambar 3.17, kanan). Sambungan poros antara vertebra

serviks pertama dan kedua memungkinkan pergerakan kepala dari sisi ke sisi, misalnya, gerakan yang Anda lakukan saat mengatakan "tidak". Seperti yang akan Anda pelajari di modul berikutnya, otot memasok kekuatan untuk menggerakkan tulang di setiap sendi.

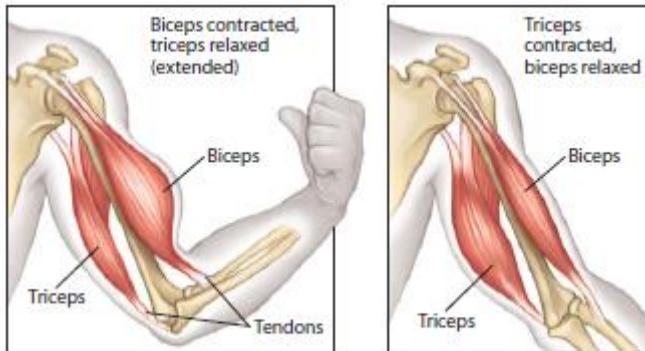


Gambar 3.17 Tiga jenis sendi

5. Kontraksi dan Gerakan Otot

Kerangka dan otot berinteraksi dalam gerakan

Gambar 3.18 menunjukkan bagaimana otot hewan berinteraksi dengan tulangnya untuk menghasilkan gerakan. Otot terhubung ke tulang oleh tendon. Misalnya, ujung atas otot bisep dan trisep yang ditunjukkan pada gambar ditambatkan ke tulang di bahu. Ujung bawah otot ini menempel pada tulang di lengan bawah. Tindakan otot selalu berkontraksi, atau memperpendek. Otot menarik tulang tempat ia menempel — otot hanya dapat menggerakkan tulang ke satu arah. Otot yang berbeda dibutuhkan untuk membalikkan tindakan. Jadi, gerakan bolak-balik bagian tubuh melibatkan antagonis, yaitu sepasang otot (atau kelompok otot) yang dapat menarik tulang yang sama ke arah yang berlawanan. Sementara satu antagonis berkontraksi, yang lain rileks.

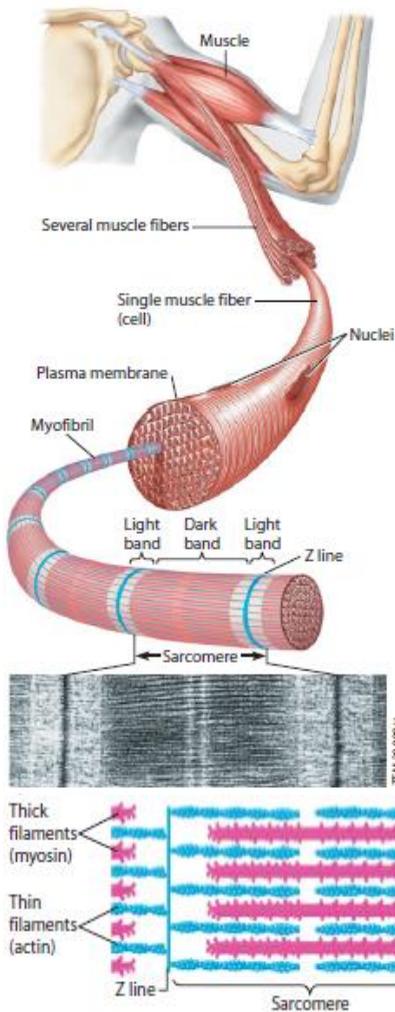


Gambar 3.18 Gerakan antagonis otot untuk menarik tulang ke atas atau ke bawah di lengan manusia

Otot bisep dan trisep adalah contoh pasangan antagonis. Bayangkan Anda sedang mengambil segelas air untuk diminum. Untuk mengangkat kaca ke bibir Anda, otot bisep Anda berkontraksi, menarik tulang lengan bawah ke arah Anda saat siku Anda menekuk. Untuk meletakkan gelas kembali di atas meja, Anda harus menurunkan lengan bawah Anda. Sekarang otot trisep berkontraksi, menarik tulang lengan bawah ke bawah. Paha depan, yang memperpanjang tungkai bawah, dan hamstring, yang melenturkan tungkai bawah, adalah contoh tambahan dari sepasang otot antagonis.

Semua hewan — yang sangat kecil seperti semut dan yang raksasa seperti gajah — memiliki pasangan otot antagonis yang menerapkan gaya berlawanan untuk menggerakkan bagian kerangka mereka. Selanjutnya kita melihat bagaimana struktur otot menjelaskan kemampuannya untuk berkontraksi.

Setiap sel otot memiliki alat kontraktalnya sendiri



Sistem otot rangka adalah ilustrasi yang indah tentang hubungan antara struktur dan fungsi. Setiap otot dalam tubuh terdiri dari hierarki untaian paralel yang lebih kecil dan lebih kecil, dari otot itu sendiri hingga molekul protein kontraktil yang menghasilkan gerakan tubuh.

Gambar 3.19 menunjukkan tingkat organisasi otot rangka. Seperti yang ditunjukkan di bagian atas gambar, sebuah otot terdiri dari banyak kumpulan serat

otot — kira-kira 250.000 dalam otot bisep manusia yang khas —

berorientasi

sejajar satu sama lain.

Gambar 3.19 Alat kontraktil otot rangka

Setiap serat otot adalah satu silinder panjang yang memiliki

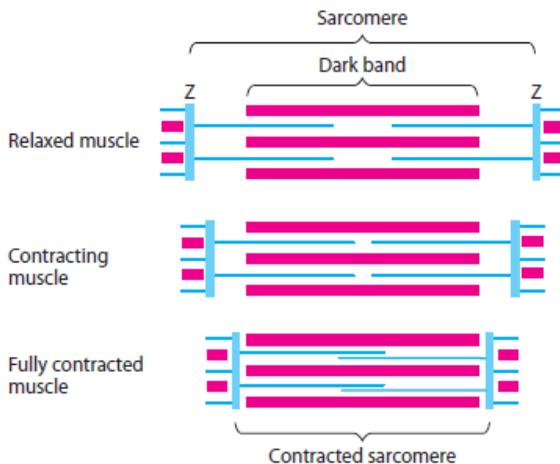
banyak inti. Sebagian besar volumenya ditempati oleh ratusan atau ribuan miofibril, kumpulan protein terpisah yang mencakup protein kontraktilektin dan miosin. Otot rangka juga disebut otot lurik (bergaris) karena susunan protein menciptakan pola garis berulang sepanjang miofibril yang terlihat di bawah mikroskop cahaya. Di bawah gambar miofibril pada Gambar 3.19 adalah mikrograf elektron yang menunjukkan satu unit pola, yang disebut sarkomer. Secara struktural, sarkomer adalah daerah antara dua garis gelap dan sempit, yang disebut garis Z, di miofibril. Setiap miofibril terdiri dari rangkaian panjang sarkomer. Secara fungsional, sarkomer adalah alat kontraktilektin dalam miofibril — unit kerja fundamental serat otot.

Diagram sarkomer di bagian bawah Gambar 3.19 menjelaskan fitur-fitur yang terlihat dalam mikrograf. Pola garis horizontal adalah hasil dari pita filamen tipis yang bergantian, terutama terdiri dari molekul aktin, dan filamen tebal, yang terdiri dari molekul miosin. Garis Z terdiri dari protein yang menghubungkan filamen tipis yang berdekatan. Pita cahaya yang mengelilingi setiap garis Z hanya berisi filamen tipis. Pita gelap yang berpusat di sarkomer adalah lokasi dari filamen tebal. Molekul aktin dalam filamen tipis adalah protein globular yang tersusun dalam untaian panjang. Selain aktin, filamen tipis termasuk protein yang disebut troponin dan tropomiosin yang memainkan peran kunci dalam mengatur kontraksi otot. Selanjutnya, kami memeriksa struktur sarkomer secara detail dan melihat bagaimana fungsinya dalam kontraksi otot.

Otot berkontraksi ketika filamen tipis meluncur di sepanjang

filamen tebal

Bagaimana struktur sarkomer berhubungan dengan fungsinya? Menurut model kontraksi otot filamen geser, sarkomer berkontraksi (memendek) ketika filamen tipisnya meluncur di sepanjang filamennya yang tebal. Gambar 3.20, di halaman berikutnya, adalah diagram sederhana yang menunjukkan sarkomer pada otot yang rileks, pada otot yang berkontraksi, dan otot yang berkontraksi penuh. Perhatikan pada sarkomer yang berkontraksi bahwa garis-garis Z dan filamen tipis (biru) telah bergerak semakin berdekatan. Ketika otot berkontraksi penuh, filamen tipis tumpang tindih di tengah sarkomer. Kontraksi memperpendek sarkomer tanpa mengubah panjang filamen tebal dan tipis. Seluruh otot dapat memendek sekitar 35% dari panjang istirahatnya ketika semua sarkomer berkontraksi.



Gambar 3.20 Kontraksi otot model filamen geser
Myosin bertindak sebagai mesin penggerak. Setiap

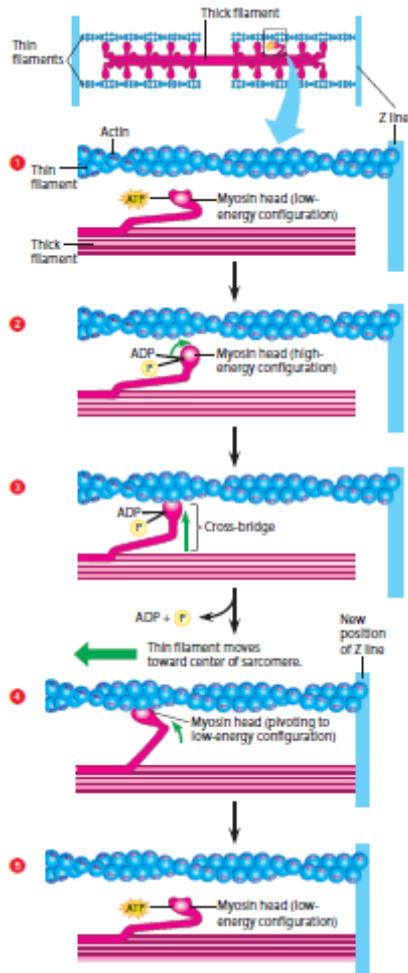
molekul miosin memiliki daerah "ekor" yang panjang dan daerah "kepala" yang bulat. Ekor molekul miosin dalam filamen tebal terletak sejajar satu sama lain, dengan kepala mencuat ke samping. Setiap kepala memiliki dua situs pengikatan. Salah satu situs pengikatan cocok dengan situs pengikatan pada molekul aktin (subunit) dari filamen tipis. ATP mengikat di sisi lain, yang juga mampu menghidrolisis ATP untuk melepaskan energinya — energi yang menggerakkan kontraksi otot.

Setiap kepala myosin berputar maju mundur dalam busur terbatas karena berubah bentuk dari konfigurasi energi rendah ke konfigurasi energi tinggi dan kembali lagi. Selama perubahan ini, kepala miosin berayun menuju ikatan filamen tipis dengan molekul aktin, dan menyeret filamen tipis melewati sisa busurnya. Kepala miosin kemudian melepaskan molekul aktin dan kembali ke posisi awalnya untuk mengulangi gerakan yang sama dengan molekul aktin yang berbeda.

Mari kita ikuti peristiwa utama dari proses ini pada Gambar 3.21. Kepala myosin mengikat molekul **ATP**, seperti yang ditunjukkan pada (1). Pada titik ini, kepala myosin berada pada posisi berenergi rendah. (2) Miosin menghidrolisis **ATP** menjadi **ADP** dan **fosfat (P)**, melepaskan energi yang memanjang kepala miosin menuju filamen tipis. (3) Kepala myosin meluas lebih jauh, dan situs pengikatan lainnya menempel ke situs pengikatan aktin. Hasilnya adalah hubungan antara dua filamen — jembatan silang. (4) **ADP** dan **P** dilepaskan, dan kepala myosin berputar kembali ke

konfigurasi energinya yang rendah. Tindakan ini, yang disebut pukulan daya, menarik filamen tipis ke arah tengah sarkomer.

Jembatan silang tetap utuh sampai (5) molekul ATP lain berikatan dengan kepala miosin, dan seluruh proses berulang. Pada power stroke berikutnya, kepala miosin menempel pada molekul aktin di depan yang sebelumnya pada filamen tipis (lebih dekat ke garis Z). Urutan ini — melepaskan, memperpanjang, memasang, menarik, melepaskan — terjadi berulang kali dalam otot yang berkontraksi. Meskipun kami hanya menampilkan satu kepala miosin pada gambar, filamen tebal tipikal memiliki sekitar 350 kepala, yang masing-masing dapat mengikat dan melepaskan ke filamen tipis sekitar lima kali per detik. Aksi gabungan dari ratusan kepala myosin pada setiap filamen tebal mengarahkan filamen tipis



Gambar 3.21 Mekanisme Geser Filamen

ke tengah sarkomer, seperti orang-orang di satu sisi tarik-menarik. Setiap orang (kepala miosin) menarik tangannya ke atas tali (benang tipis) —tali itu bergerak, orang tidak. Selama ATP yang cukup ada, proses berlanjut sampai otot berkontraksi sepenuhnya atau sampai sinyal untuk berkontraksi berhenti.

Kesimpulan

1. Hewan yang berenang didukung oleh air tetapi diperlambat oleh gesekan. Hewan yang berjalan, melompat, atau berlari di darat tidak terlalu terpengaruh oleh gesekan tetapi harus menopang dirinya sendiri melawan gravitasi. Hewan yang menggali atau merangkak harus mengatasi gesekan. Mereka mungkin bergerak dengan undulasi sisi-ke-sisi atau dengan gerak peristaltik. Sayap burung, kelelawar, dan serangga terbang adalah airfoil, yang menghasilkan daya angkat yang cukup untuk mengatasi gravitasi.
2. Cacing dan cnidaria memiliki kerangka hidrostatik — cairan yang tertekan di kompartemen tubuh yang tertutup. Eksoskeleton adalah kasus eksternal yang keras, seperti kerangka artropoda chitinous dan bersendi. Endoskeleton vertebrata terdiri dari tulang rawan dan tulang.
3. Kerangka vertebrata terdiri dari kerangka aksial (tengkorak, tulang belakang, dan tulang rusuk) dan kerangka apendikuler (korset bahu, tungkai atas, korset panggul, dan tungkai bawah). Ada banyak variasi pada rancangan dasar tubuh ini, yang mungkin telah berkembang melalui perubahan regulasi gen.
4. Tulang rawan di ujung tulang melindungi persendian. Sel tulang, yang dilayani oleh pembuluh darah dan saraf, berada dalam matriks serat protein fleksibel dan garam kalsium keras. Tulang panjang memiliki rongga pusat penyimpan lemak dan tulang spons di ujungnya. Tulang

spons mengandung sumsum merah, tempat pembuatan sel darah.

5. Sel tulang terus menggantikan dan memperbaiki tulang sepanjang hidup. Osteoporosis, penyakit tulang yang ditandai dengan tulang yang lemah dan keropos, terjadi ketika kerusakan tulang melebihi penggantian.
6. Pasangan otot antagonis menghasilkan gerakan yang berlawanan. Otot melakukan pekerjaan hanya saat berkontraksi.
7. Serabut otot, atau sel, terdiri dari kumpulan miofibril, yang berisi kumpulan filamen protein tebal (miosin) dan tipis (aktin) yang tumpang tindih. Sarkomer, kelompok berulang dari filamen tebal dan tipis, adalah unit kontraktil.
8. Menurut model filamen geser kontraksi otot, kepala myosin dari filamen tebal mengikat ATP dan meluas ke keadaan energi tinggi. Kepala kemudian menempel pada situs pengikatan pada molekul aktin dan menarik filamen tipis ke arah tengah sarkomer.

Referensi

Campbell, N. A., Mitchell, L. G., Reece, J. B., & Taylor, M. R. (2000). *Biology: concepts & connections*. Benjamin/Cummings.

TUGAS

1. Dalam hal jumlah spesies dan jumlah individu, serangga adalah hewan darat yang paling berhasil. Tulislah satu paragraf yang menjelaskan bagaimana kerangka luar mereka membantu mereka hidup di darat. Apakah ada kerugian memiliki exoskeleton?
2. Seekor elang menukik ke bawah, menangkap seekor tikus di cakarinya, dan terbang kembali ke tempat bertenggerinya. Jelaskan bagaimana sayapnya memungkinkannya mengatasi tarikan gravitasi ke bawah saat terbang ke atas.
3. Konsentrasi terbesar peternakan kuda ras murni ada di wilayah bluegrass di Kentucky. Rerumputan di tanah berbasis batu kapur di daerah ini sangat kaya akan kalsium. Bagaimana rumput ini mempengaruhi perkembangan kuda kejuaraan?
4. Jelaskan bagaimana Anda menekuk lengan Anda, dimulai dengan potensi aksi dan diakhiri dengan kontraksi otot. Apa perbedaan kontraksi yang kuat dengan yang lemah?
5. Dengan menggunakan contoh, jelaskan pernyataan ini: "Kerangka vertebrata adalah variasi dalam sebuah tema."

Referensi

- Campbell, N. A., Mitchell, L. G., Reece, J. B., & Taylor, M. R. (2000). *Biology: concepts & connections*. Benjamin/Cummings.
- Giancoli, Douglas C. (2001). *Fisika/Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Kanginan, Marthen. (2013). *Fisika 1 untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Erlangga.
- Nowikow, I., Heimbecker, B., Bosomworth, D., & Van Bemmell, H. M. (2001). *Physics: Concepts and Connections*. Irwin Publishing Limited.
- Serway, R. A., & Vuille, C. (2007). *Essentials of College Physics*. United State of America: Thomson Learning, Inc.
- Shofiyah, N., Wulandari, R., & Setiyawati, E. (2020). Modul Dinamika Partikel Terintegrasi Permainan Tradisional Berbasis E-Learning untuk Meningkatkan Literasi Sains. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran*, 6(2), 292-299.
- Sukma, T. A., Mundilarto, M., & Putri, N. D. (2019). Local wisdom-Based Electronic Book on Newton's Law. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 8(2), 197-206.

BIODATA PENULIS



Noly Shofiyah, M.Pd, M.Sc dilahirkan di Lamongan, 26 Maret 1986. Pada tahun 2008, penulis mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan Fisika dari Universitas Negeri Surabaya. Penulis melanjutkan magister pendidikan sains dengan program beasiswa dual degree dari DIKTI yang merupakan kerjasama UNESA dengan Curtin University. Tahun 2013, penulis secara resmi mendapatkan gelar M.Pd, dan M.Sc. Penulis mengawali karirnya sebagai Dosen di prodi pendidikan IPA Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh penulis adalah tentang literasi sains dan keterampilan abad 21.

Fitria Eka Wulandari, S.Si, M.Pd, lahir di Bondowoso 12 Juli 1983. Pendidikan dasar ditempuhnya di sekolah dasar Negeri Mangli Wetan 1 di daerah kelahirannya. Pendidikan menengah Pertama ditempuhnya di SMP Negeri 1 Tapan. Pendidikan Menengan Atas ditempuhnya di SMU Negeri 1 Renggarang. Pendidikan S1 diselesaikan di Universitas Negeri Malang pada tahun 2006. Gelar Magister



Pendidikan bidang sains diperolehnya dari Universitas Negeri Surabaya padatahun 2010. Sejak tahun 2010 sampai sekarang, menjadi dosen tetap di prodi Pendidikan IPA Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.