

Fisika Umum (MA-301)

Topik hari ini:

- Getaran dan Gelombang
- Bunyi



Getaran dan Gelombang



Hukum Hooke

▶ $F_s = -kx$

- F_s adalah gaya pegas
- k adalah konstanta pegas
 - ▶ Konstanta pegas adalah ukuran kekakuan dari pegas
 - k yang besar menunjukkan pegas kaku dan k yang kecil menunjukkan pegas lunak
- x adalah perpindahan benda dari posisi kesetimbangannya
- Tanda negatif menunjukkan bahwa gaya pegas selalu **berlawanan arah** dengan perpindahan

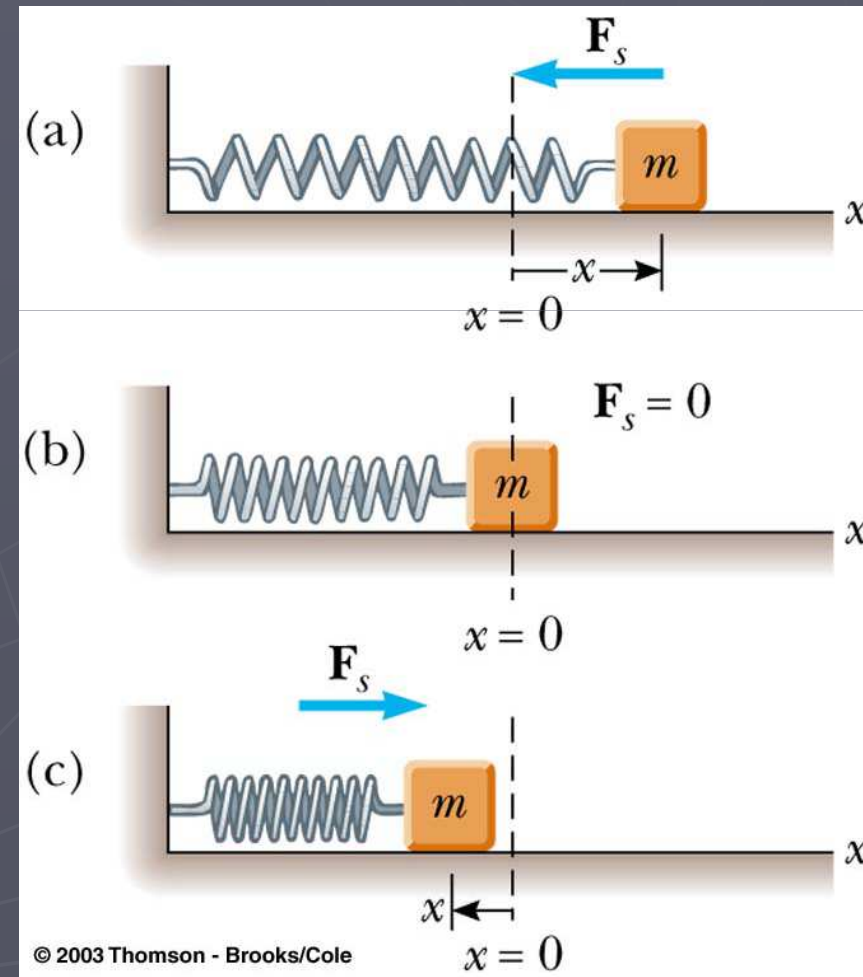
Gaya pada Hukum Hooke

- ▶ Gaya selalu bekerja ke arah posisi kesetimbangan
 - Dinamakan juga **gaya pemulih**
- ▶ Arah dari gaya pemulih sedemikian rupa sehingga benda **terdorong** atau **tertarik** ke arah posisi kesetimbangan

Aplikasi Hukum Hooke pada Sistem Pegas-Massa

- ▶ Ketika x positif (ke kanan), F adalah negatif (ke kiri)
- ▶ Ketika $x = 0$ (kesetimbangan), F adalah 0
- ▶ Ketika x negatif (ke kiri), F adalah positif (ke kanan)

Animasi 11.1



Gerak dari Sistem Pegas-Massa

- ▶ Asumsikan benda awalnya ditarik pada posisi $x = A$ dan lepaskan dari keadaan diam
- ▶ Ketika benda bergerak ke arah posisi kesetimbangan, F dan a menurun, tetapi v meningkat
- ▶ Pada $x = 0$, F dan a nol, tapi v maksimum
- ▶ Momentum benda mengakibatkan benda melewati posisi kesetimbangan
- ▶ Gaya dan percepatan mulai meningkat ketika benda menjauhi posisi kesetimbangan dan kecepatan menurun
- ▶ Gerak akan terus menerus dan tidak berhenti

Gerak Harmonik Sederhana

- ▶ Gerak yang terjadi ketika gaya neto sepanjang arah gerak adalah tipe gaya hukum Hooke
 - Gayanya berbanding lurus dengan perpindahan dan berlawanan arah
- ▶ Gerak dari sistem pegas-massa adalah contoh dari **gerak harmonik sederhana**

Amplitudo

► Amplitudo, A

- Amplitudo adalah posisi maksimum benda relatif terhadap posisi kesetimbangan
- Ketika tidak ada gaya gesekan, sebuah benda yang bergerak harmonik sederhana akan berosilasi antara $\pm A$ pada tiap sisi dari posisi kesetimbangan

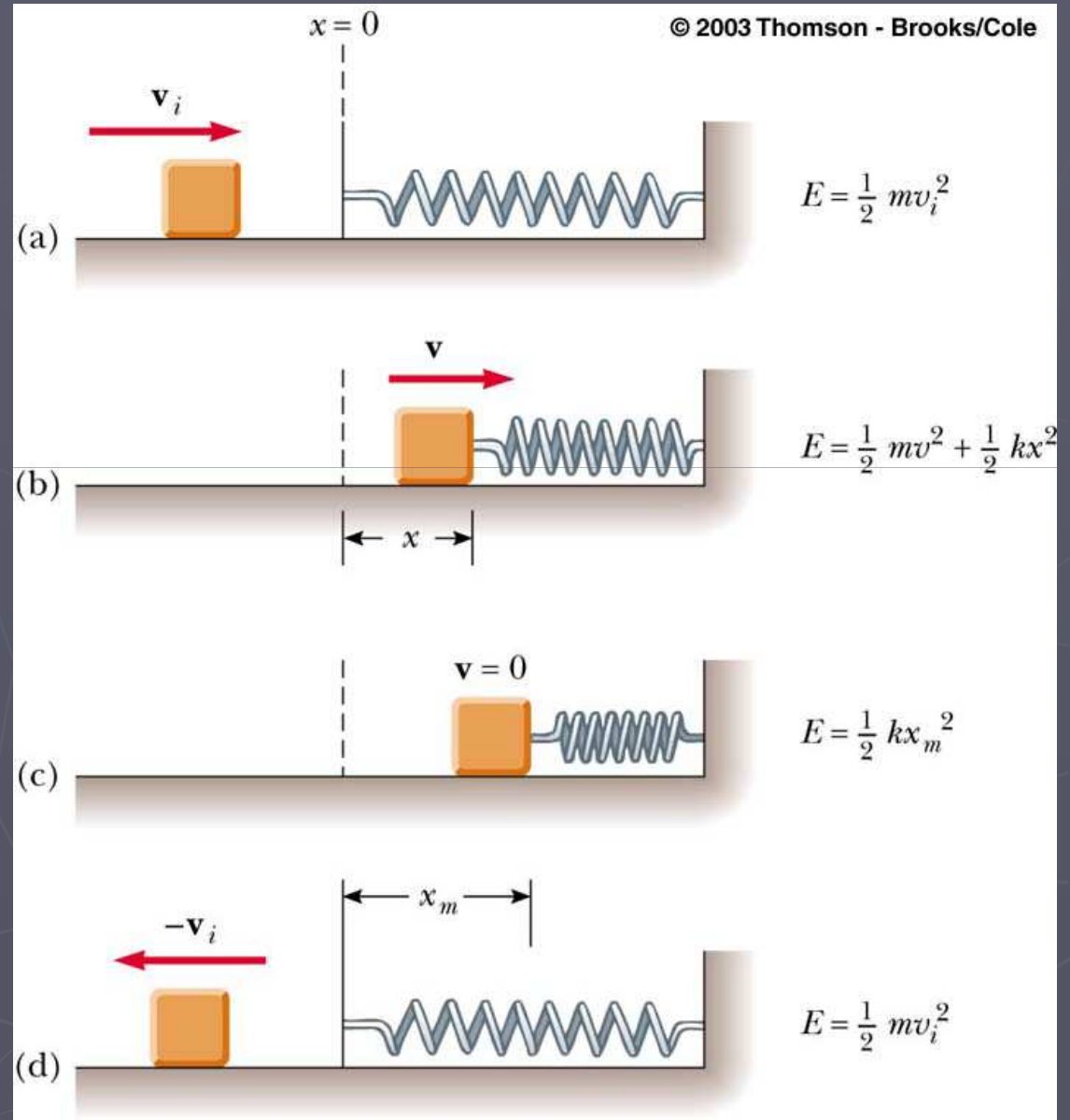
Perioda dan Frekuensi

- ▶ Prioda, T , adalah waktu yang diperlukan untuk sebuah benda bergerak lengkap satu siklus
 - Dari $x = A$ ke $x = -A$ dan kembali ke $x = A$
- ▶ Frekuensi, f , jumlah lengkap siklus atau getaran per satuan waktu

Energi dalam Sistem Pegas-Massa

- ▶ Benda meluncur tanpa gesekan dan menumbuk pegas
- ▶ Benda menekan pegas
- ▶ Benda didorong kembali oleh pegas

Animasi 11.2



Kecepatan sebagai Fungsi dari Posisi

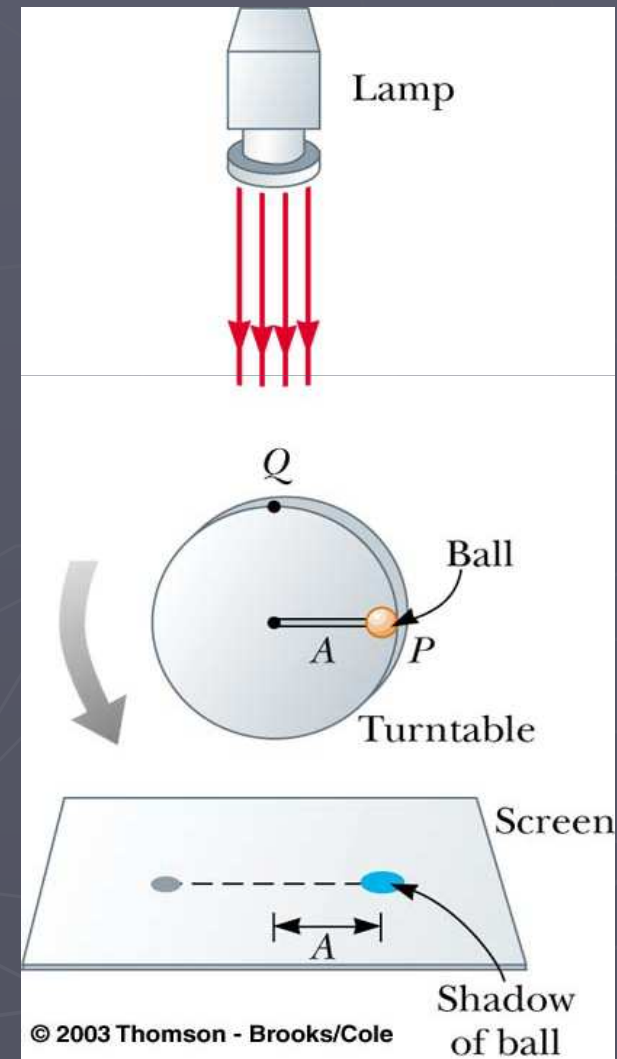
- ▶ Kekekalan energi memungkinkan menghitung **kecepatan benda** pada tiap posisi dalam gerakanya

$$v = \pm \sqrt{\frac{k}{m} (A^2 - x^2)}$$

- Laju adalah maksimum pada $x = 0$
- Laju adalah nol pada $x = \pm A$
- Tanda \pm menyatakan bahwa benda dapat bergerek dalam salah satu arah

Gerak Harmonik Sederhana dan Gerak Melingkar Beraturan

- ▶ Sebuah bola dikaitkan pada sabuk yang dapat berputar dengan jari-jari A
- ▶ Perhatikan bayangan bola yang muncul pada layar
- ▶ Ketika bola berputar dengan kecepatan sudut tetap, bayangannya bergerak dalam gerak harmonik sederhana



Perioda dan Frekuensi Gerak Melingkar

► Perioda

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

► Frekuensi

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

- Satuan Hertz, Hz

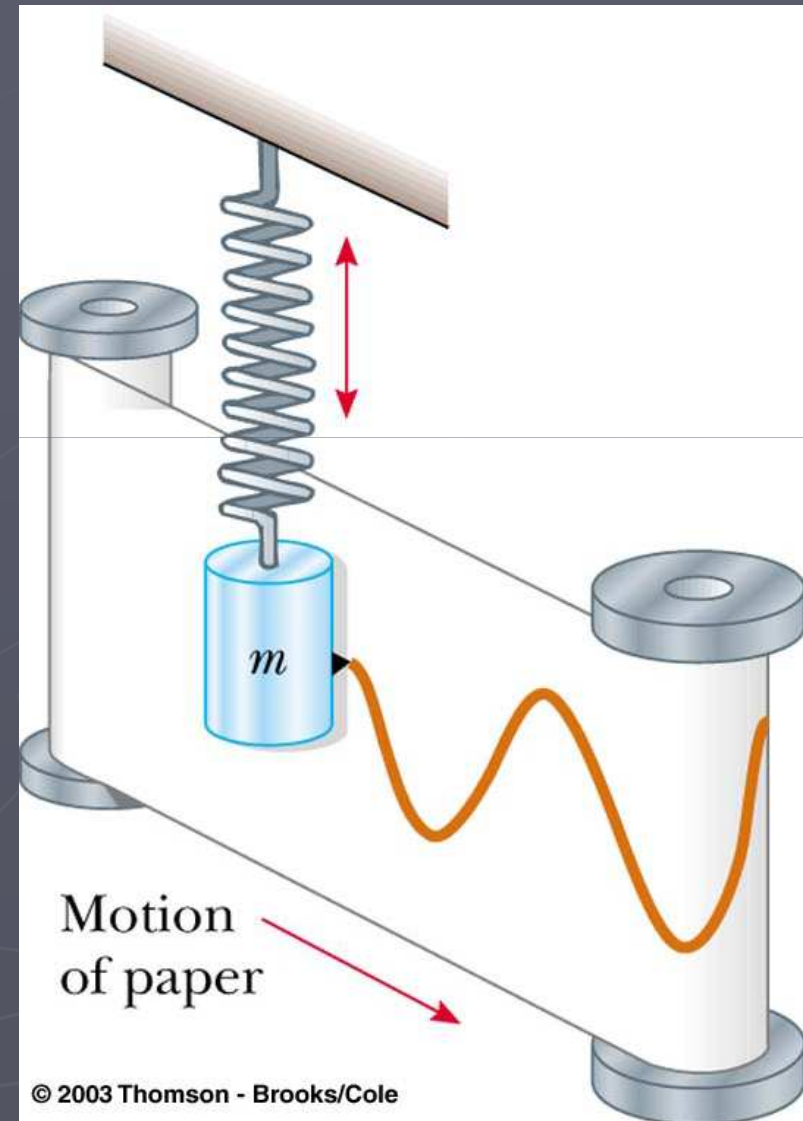
Frekuensi Sudut

- ▶ Frekuensi sudut berkaitan dengan frekuensi

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

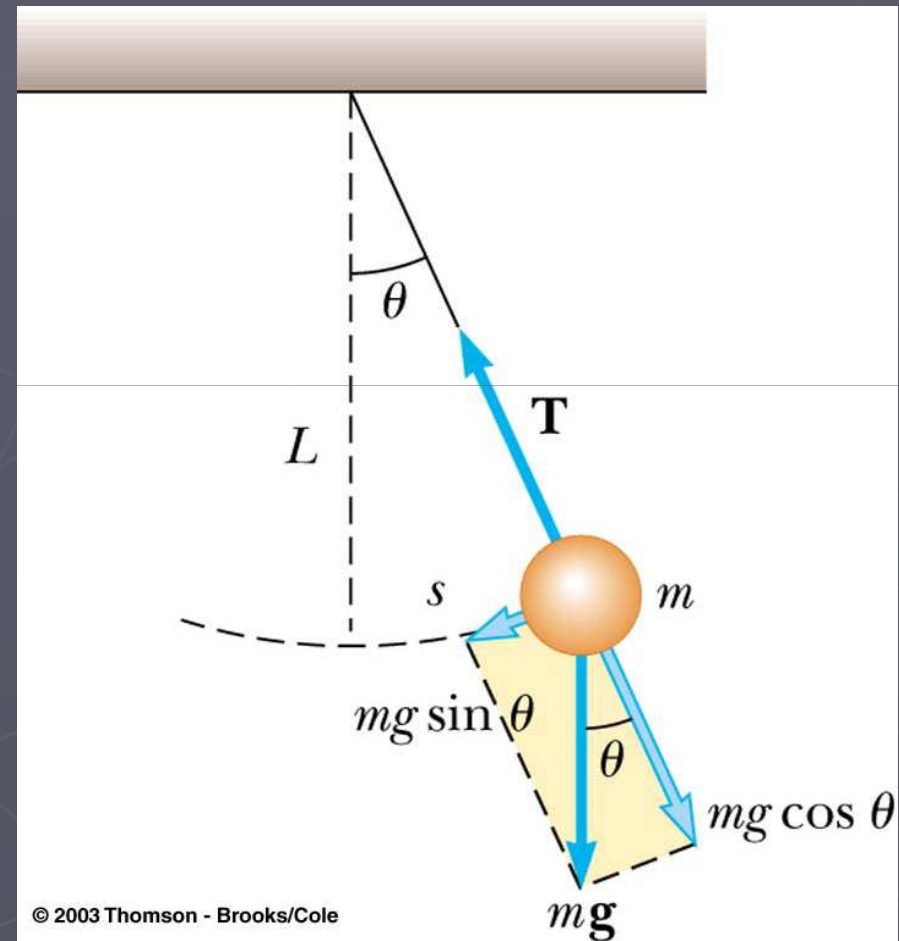
Pembuktian Sifat Sinusoidal

- ▶ Eksperimen ini menunjukkan sifat sinusoidal dari gerak harmonik sederhana
- ▶ Sistem pegas-massa berosilasi dalam gerak harmonik sederhana
- ▶ Berkas tinta (pada kertas bergerak) dari pena yang dikaitkan pada massa menunjukkan gerak sinusoidal



Bandul Sederhana

- ▶ Bandul sederhana adalah contoh lain dari gerak harmonik sederhana
- ▶ Gayanya adalah komponen dari gaya berat yang menyinggung lintasan gerak
 - $F = - m g \sin \theta$



Bandul Sederhana (lanjutan)

- ▶ Secara umum, gerak dari sebuah bandul bukanlah harmonik sederhana
- ▶ Tetapi, untuk sudut yang kecil, gerakanya menjadi harmonik sederhana
 - Secara umum, sudut $< 15^\circ$ cukup kecil
 - $\sin \theta = \theta$
 - $F = - m g \theta$
 - ▶ Gaya ini memenuhi hukum Hooke

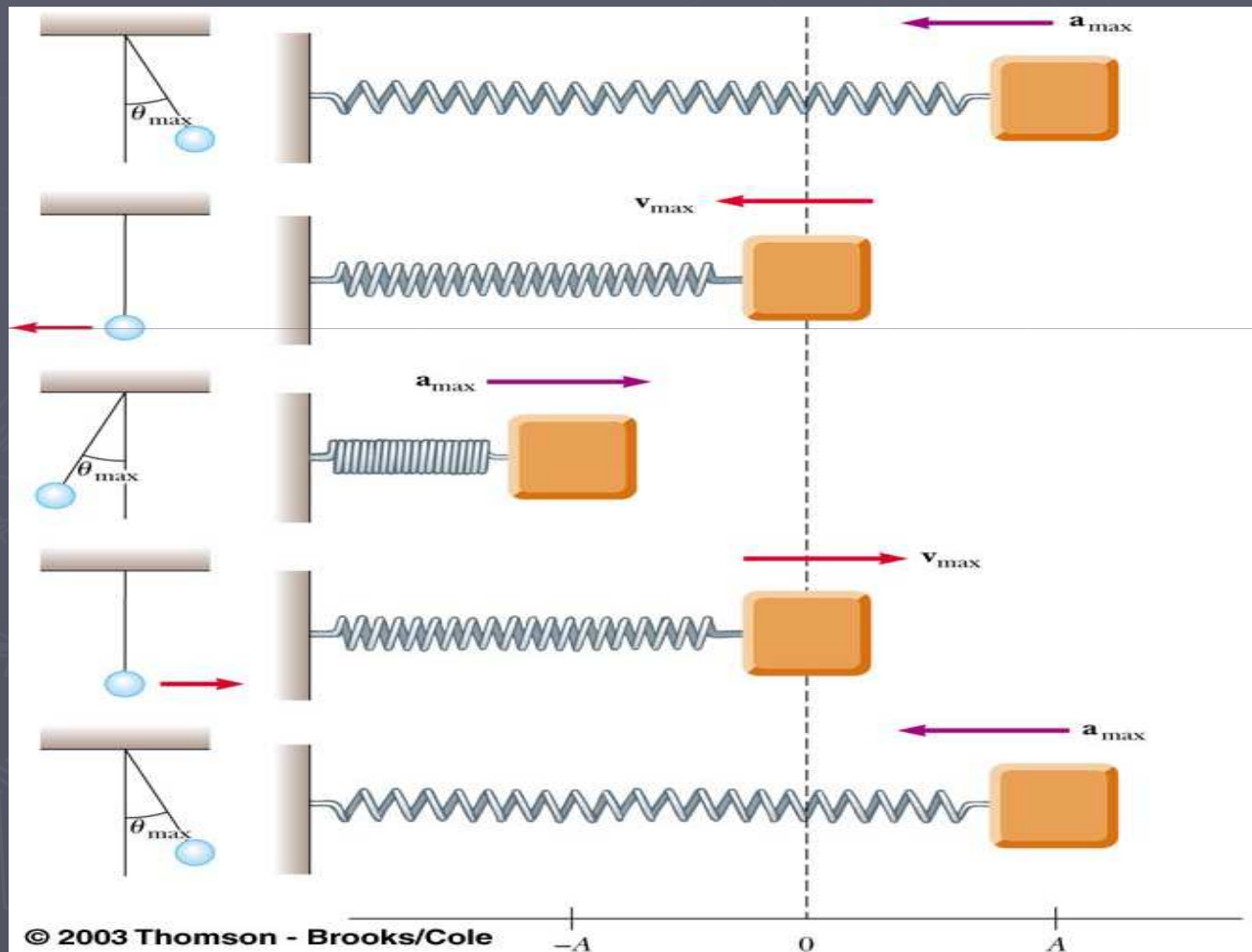
Perioda dari Bandul Sederhana

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

- ▶ Ini menunjukkan bahwa perioda **tidak bergantung** pada amplitudo
- ▶ Perioda bergantung pada **panjang bandul** dan **percepatan gravitasi** di tempat bandul tersebut

Bandul Sederhana Dibandingkan dengan Sistem Pegas-Massa

Animasi 11.5

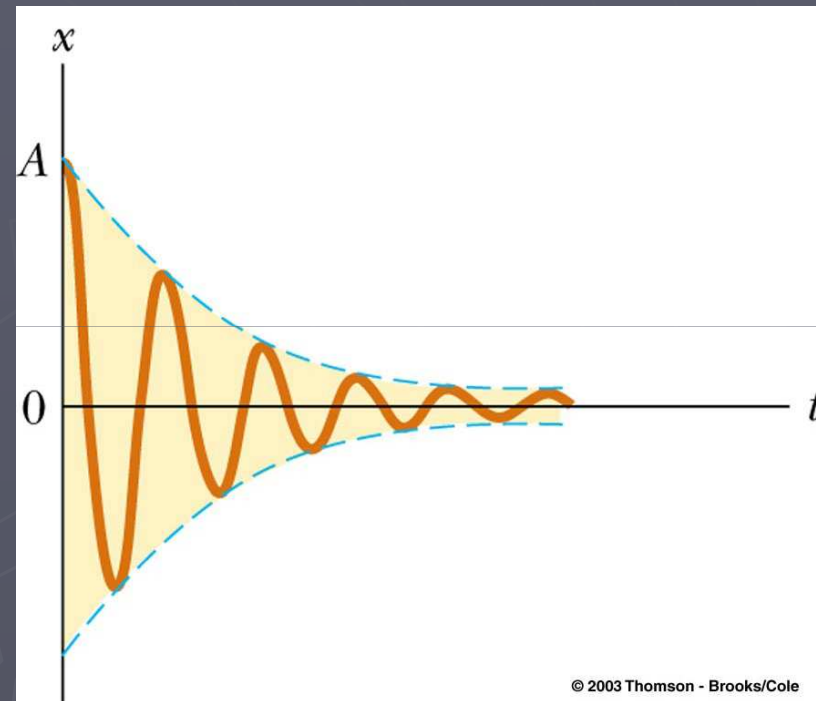


Osilasi Teredam

- ▶ Hanya sistem **ideal** yang dapat berosilasi tanpa henti
- ▶ Dalam sistem riil, **gesekan** selalu menyertai gerak
- ▶ Gesekan mereduksi energi total sistem dan osilasinya dinamakan **teredam**

Osilasi Teredam (lanjutan)

- ▶ Gerak teredam bervariasi bergantung pada medium (fluida) yang digunakan
 - Dengan fluida yang viskositasnya rendah, gerak osilasi tetap terjaga, tetapi amplitudonya menurun seiring dengan waktu dan gerak akhirnya berhenti
 - ▶ Ini di kenal dengan osilasi *underdamped*



Jenis Tereadam yang Lain

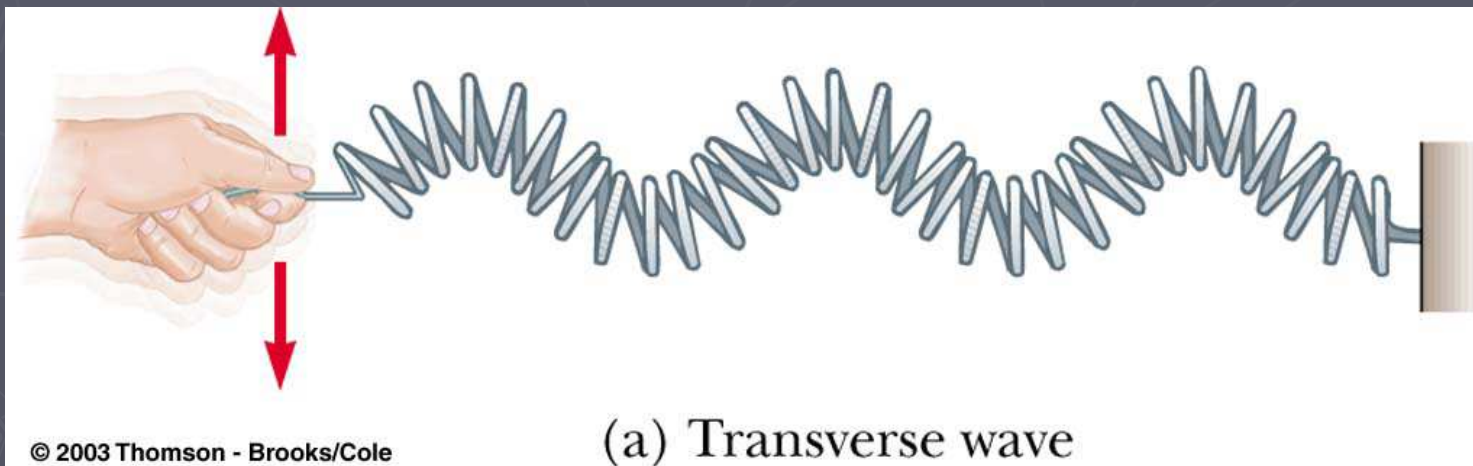
- ▶ Dengan viskositas tinggi, benda kembali ke titik kesetimbangan setelah dilepaskan dan tidak berosilasi
 - Disebut *critical damped*
- ▶ Dengan viskositas yang lebih besar lagi, setelah dilepaskan benda tidak mencapai titik kesetimbangan dan waktunya lebih lama
 - Dinamakan *over damped*

Gerak Gelombang

- ▶ Gelombang merupakan gangguan yang bergerak (kuliah ini)
- ▶ Gelombang mekanik membutuhkan
 - Sumber gangguan
 - Medium yang dapat diganggu
 - Mekanisme pengaruh dari bagian suatu medium ke bagian medium yang lain yang berdekatan
- ▶ Semua gelombang membawa energi dan momentum

Jenis-jenis Gelombang -- Transversal

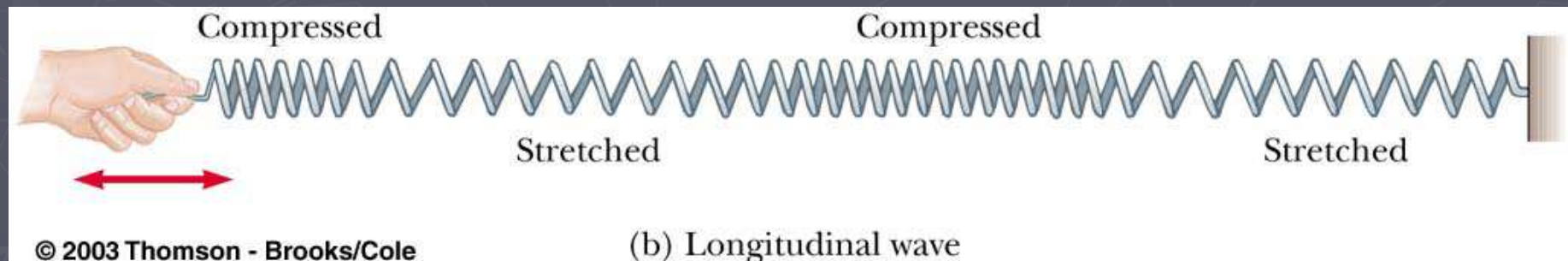
- ▶ Dalam gelombang transversal, setiap bagian yang diganggu bergerak tegak lurus dengan arah gerak gelombang



Animasi 11.7

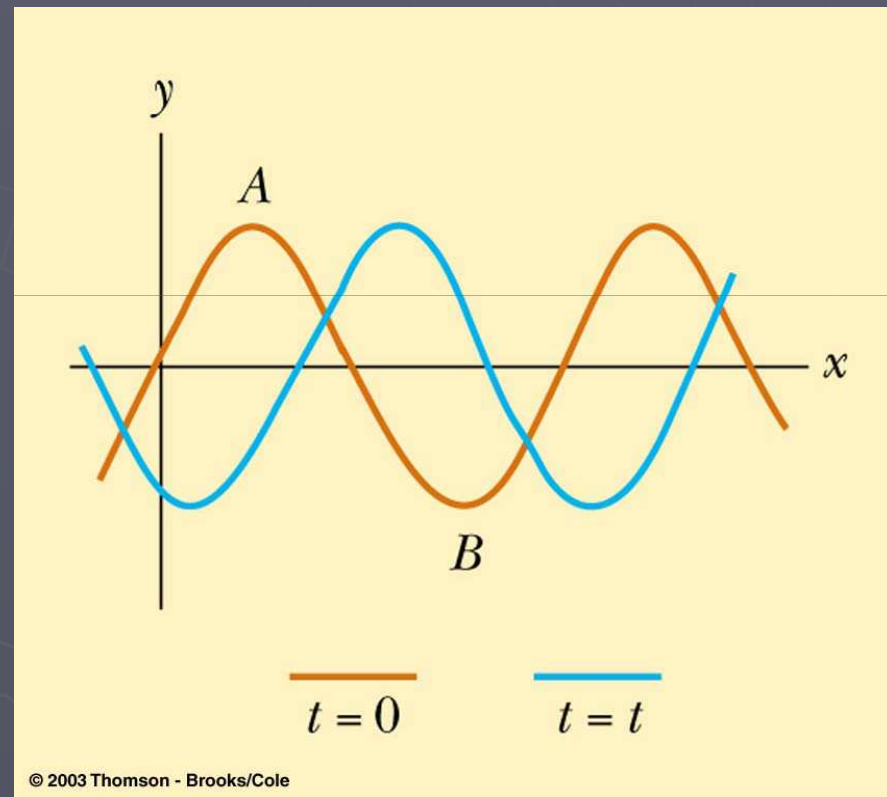
Jenis-jenis Gelombang -- Longitudinal

- ▶ Dalam gelombang longitudinal, setiap bagian medium yang diganggu mengalami perpindahan yang sejajar dengan gerak gelombang
- ▶ Gelombang longitudinal juga disebut gelombang mampat



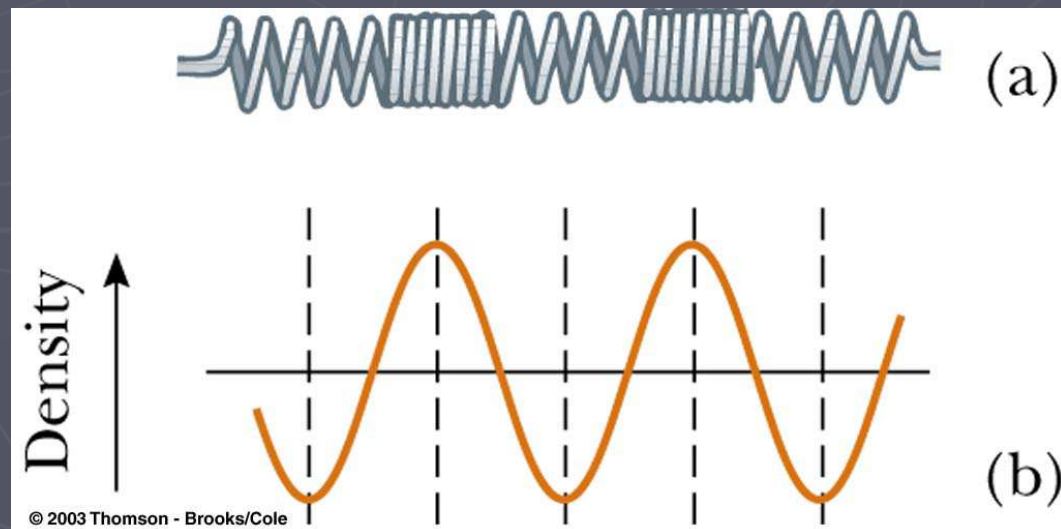
Bentuk Gelombang

- ▶ Kurva **merah** adalah bentuk gelombang pada saat tertentu
- ▶ Kurva **biru** adalah bentuk gelombang berikutnya
- ▶ A adalah **puncak** gelombang
- ▶ B adalah **lembah** gelombang



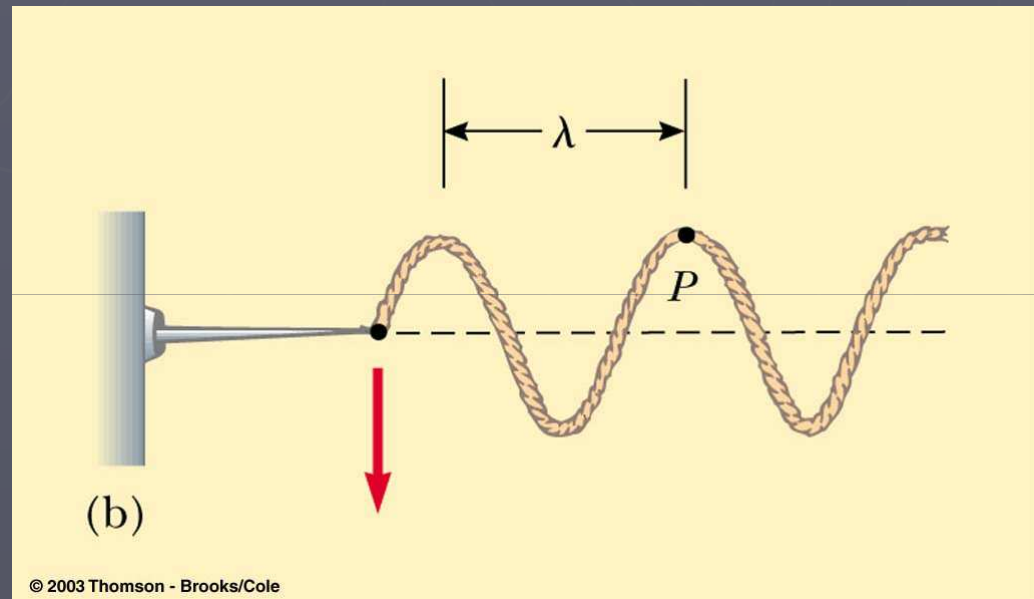
Gelombang Longitudinal Digambarkan sebagai Kurva Sinusoidal

- ▶ Sebuah gelombang longitudinal dapat juga digambarkan sebagai kurva sinusoidal
- ▶ Mampatan sesuai dengan puncak dan regangan sesuai dengan lembah



Deskripsi Gelombang

- ▶ Amplitudo adalah perpindahan maksimum dari tali disekitar titik kesetimbangan
- ▶ Panjang gelombang, λ , adalah jarak antara dua titik berturutan yang identik



Animasi 11.7

Laju gelombang

▶ $v = f \lambda$

- Diperoleh dari persamaan laju dasar jarak/waktu

- ▶ Ini adalah persamaan umum yang bisa digunakan untuk berbagai jenis gelombang

Laju Gelombang pada Tali

- ▶ Laju pada gelombang teregang akibat tegangan, F , adalah

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{dimana} \quad \mu = \frac{m}{L}$$

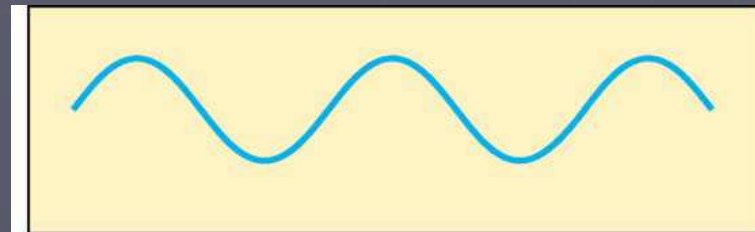
- ▶ Laju hanya bergantung pada sifat dari medium yang dilewati gangguan

Interferensi Gelombang

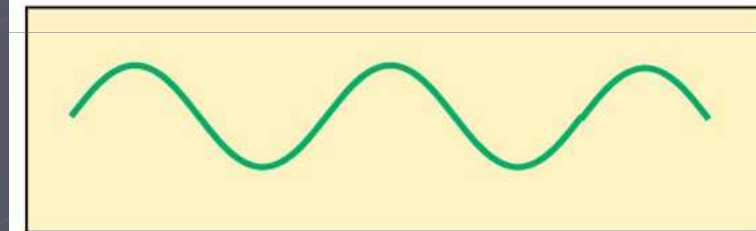
- ▶ Dua gelombang yang berjalan dapat bertemu dan saling melewati satu sama lain tanpa menjadi rusak atau berubah
- ▶ Gelombang memenuhi **Prinsip Superposisi**
 - Jika dua gelombang atau lebih yang merambat bergerak melewati medium, gelombang yang dihasilkan adalah penjumlahan masing-masing perpindahan dari tiap gelombang pada setiap titik
 - Sebenarnya hanya berlaku untuk gelombang dengan amplitudo yang kecil

Interferensi Konstruktif

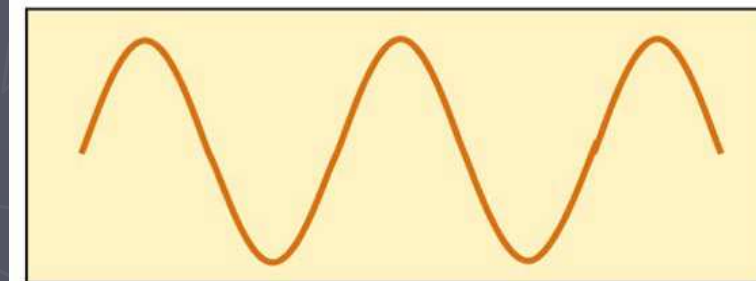
- ▶ Dua gelombang, a dan b, mempunyai frekuensi dan amplitudo yang sama
 - Berada dalam **satu fase**
- ▶ Gabungan gelombang, c, memiliki frekuensi dan amplitudo yang lebih besar



(a)



(b)

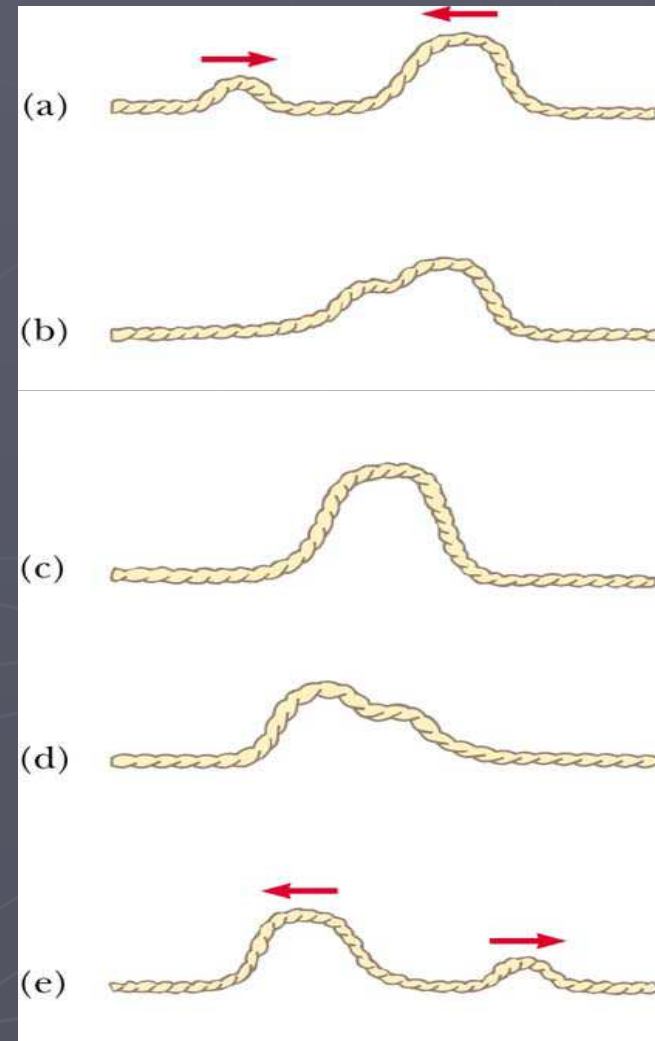


(c)

Interferensi Konstruktif pada Tali

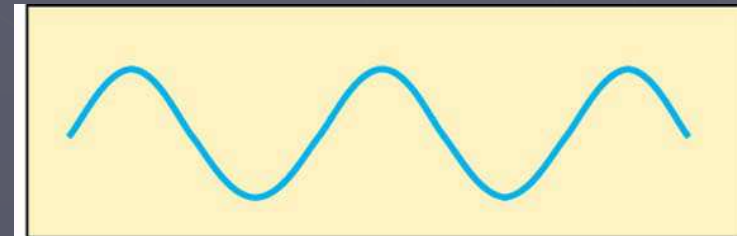
- ▶ Dua pulsa gelombang menjalar dalam arah yang berlawanan
- ▶ Perpindahan neto ketika dua pulsa saling overlap adalah penjumlahan dari perpindahan setiap pulsa
- ▶ Catatan: pulsa tidak berubah setelah interferensi

Animasi 11.18

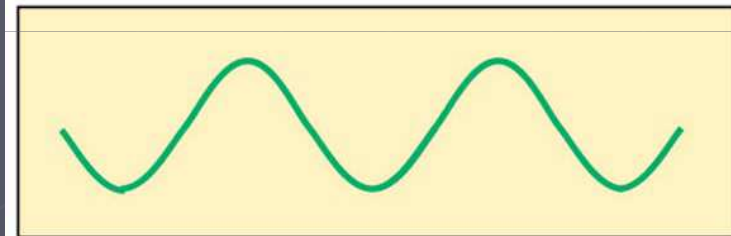


Interferensi Destruktif

- ▶ Dua gelombang, a and b, mempunyai frekuensi dan amplitudo yang sama
- ▶ Perbedaan fasenya 180°
- ▶ Ketika bergabung, bentuk gelombangnya hilang



(a)



(b)

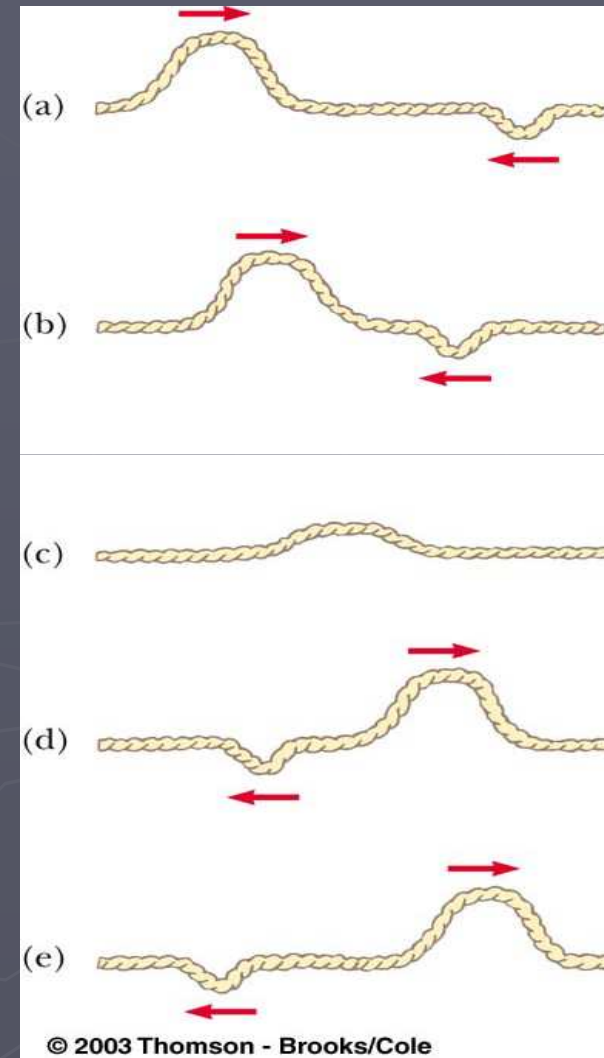


(c)

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

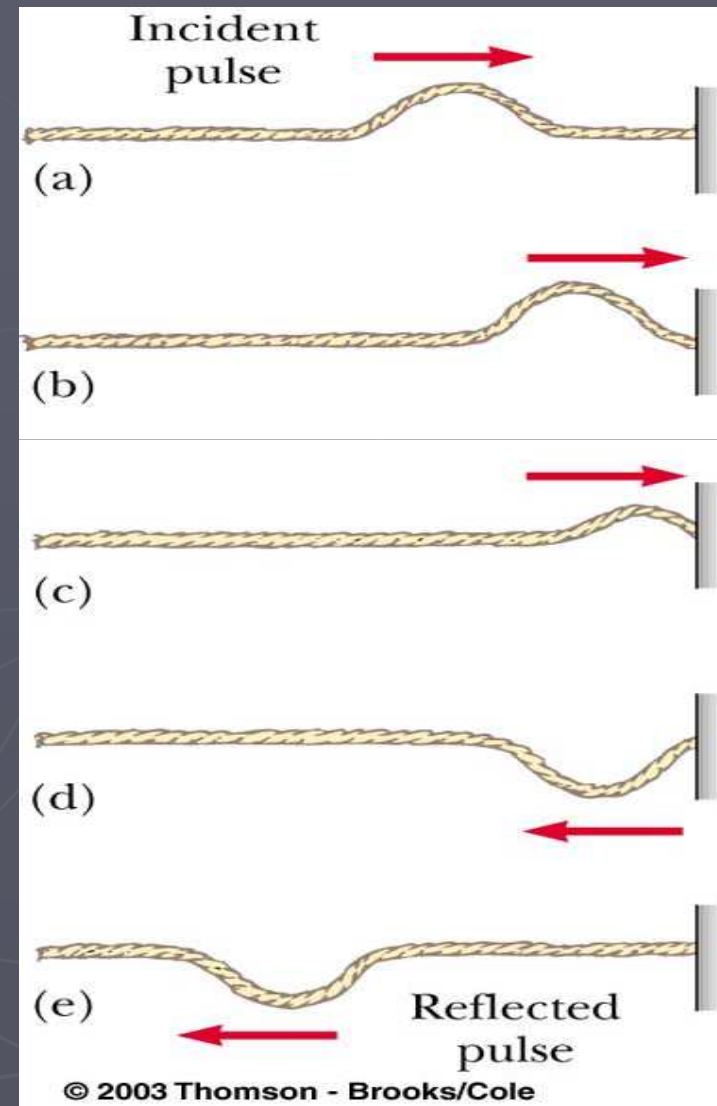
Interferensi Destruktif pada Tali

- ▶ Dua pulsa gelombang menjalar dalam arah yang berlawanan
- ▶ Perpindahan neto ketika dua pulsa saling overlap adalah pengurangan dari perpindahan setiap pulsa
- ▶ Catatan: pulsa tidak berubah setelah interferensi



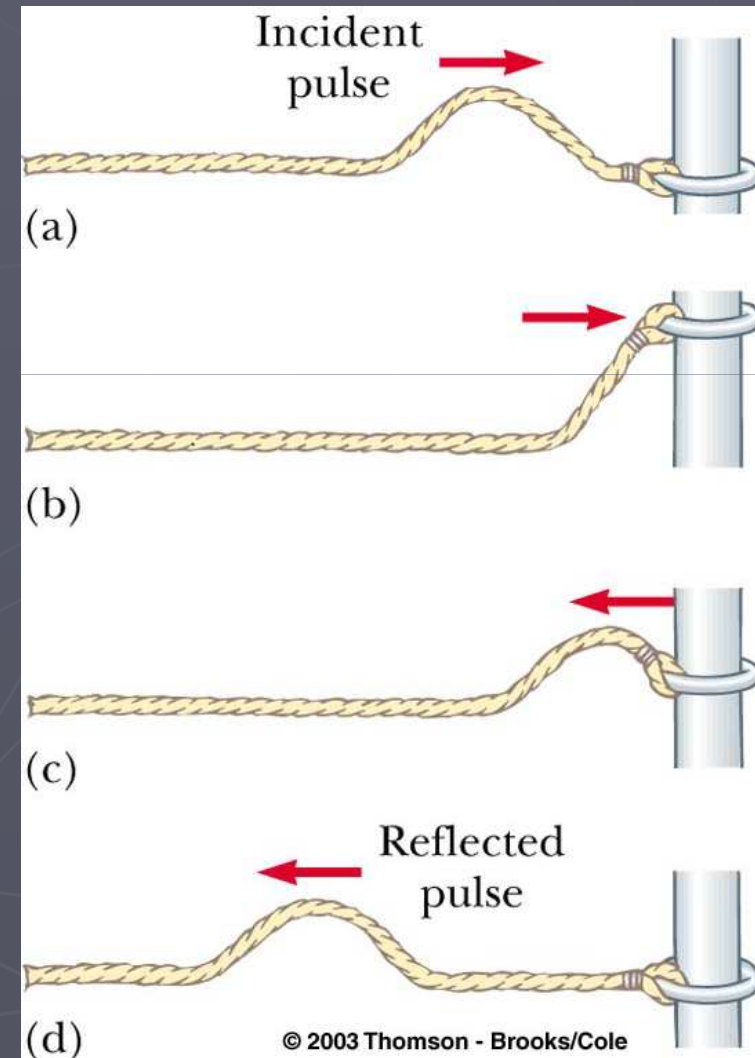
Pantulan Gelombang – Ujung Terikat

- ▶ Ketika gelombang berjalan mencapai ujung, beberapa atau semua gelombang dipantulkan
- ▶ Ketika gelombang dipantulkan dari ujung terikat, pulsa gelombang akan dibalikkan



Refleksi Gelombang – Ujung Bebas

- ▶ Ketika gelombang berjalan mencapai ujung, beberapa atau semua gelombang dipantulkan
- ▶ Ketika gelombang dipantulkan dari ujung bebas, pulsa gelombang tidak dibalikkan



Gelombang Berdiri

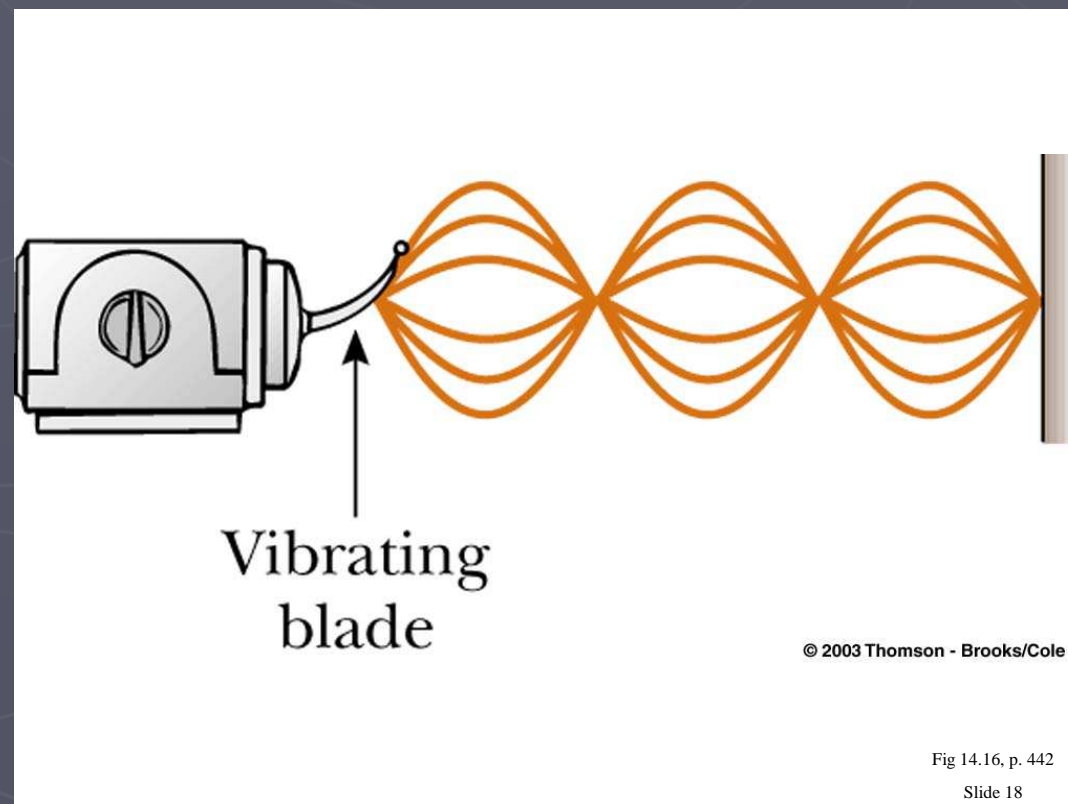
- ▶ Ketika gelombang berjalan dipantulkan kembali, hal ini akan menciptakan gelombang berjalan dalam dua arah
- ▶ Gelombang dan pantulannya **berinterferensi** sesuai dengan prinsip superposisi
- ▶ Dengan frekuensi yang tepat, gelombang akan terlihat seperti berdiri
 - Gelombang ini disebut *gelombang berdiri*

Gelombang Berdiri (lanjutan)

- ▶ *Simpul* terjadi ketika dua buah gelombang berjalan memiliki besar perpindahan yang sama, tetapi perpindahannya dalam arah yang berlawanan
 - Perpindahan neto adalah nol pada setiap titik
 - Jarak antara dua simpul adalah $\frac{1}{2}\lambda$
- ▶ *Perut* terjadi ketika gelombang berdiri bergetar dengan amplitudo maksimum

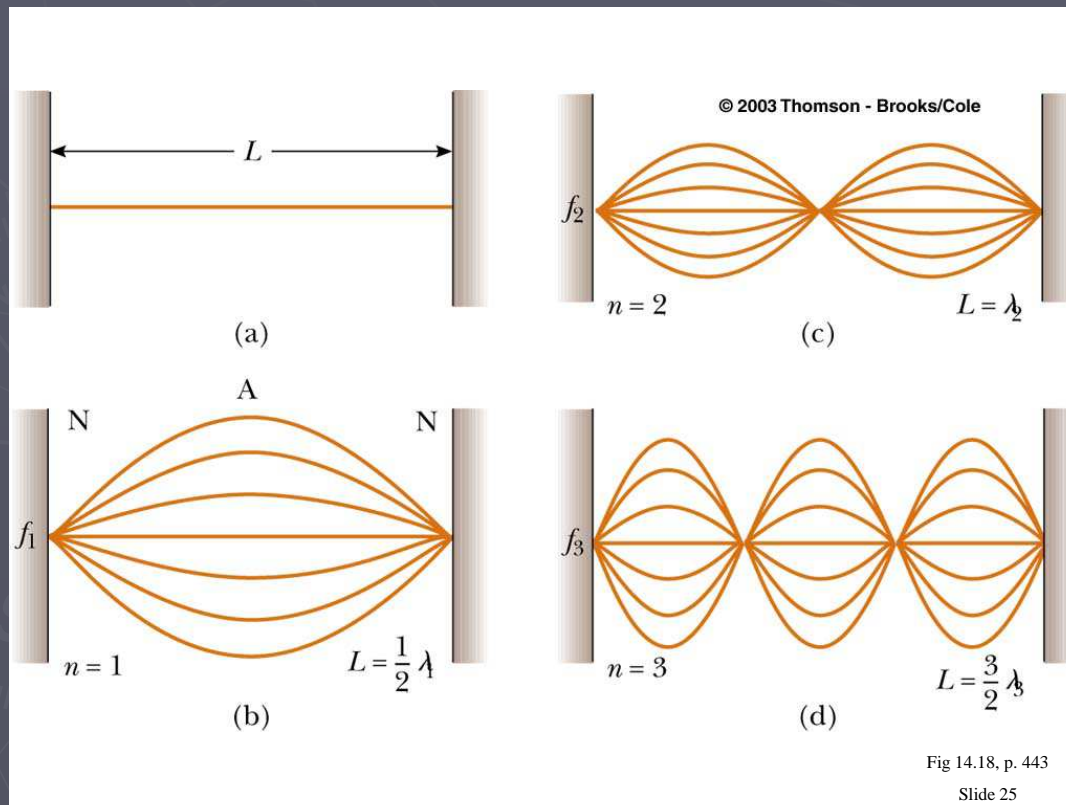
Gelombang Berdiri pada Tali

- ▶ Simpul harus terjadi pada ujung-ujung tali karena merupakan titik tetap



Gelombang Berdiri pada Tali

- Frekuensi getaran terendah dinamakan *frekuensi fundamental / frekuensi nada dasar*



Animasi 11.21

$$f_n = n f_1 = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Gelombang Berdiri pada Tali (lanjutan)

- ▶ f_1, f_2, f_3 membentuk deret harmonik
 - f_1 adalah nada dasar dan juga disebut harmonik pertama
 - f_2 adalah harmonik kedua
- ▶ Gelombang pada tali yang bukan merupakan deret harmonik akan teredam secara cepat
 - sehingga, ketika tali diganggu, gelombang yang terjadi akan memilih frekuensi gelombang berdiri

Bunyi

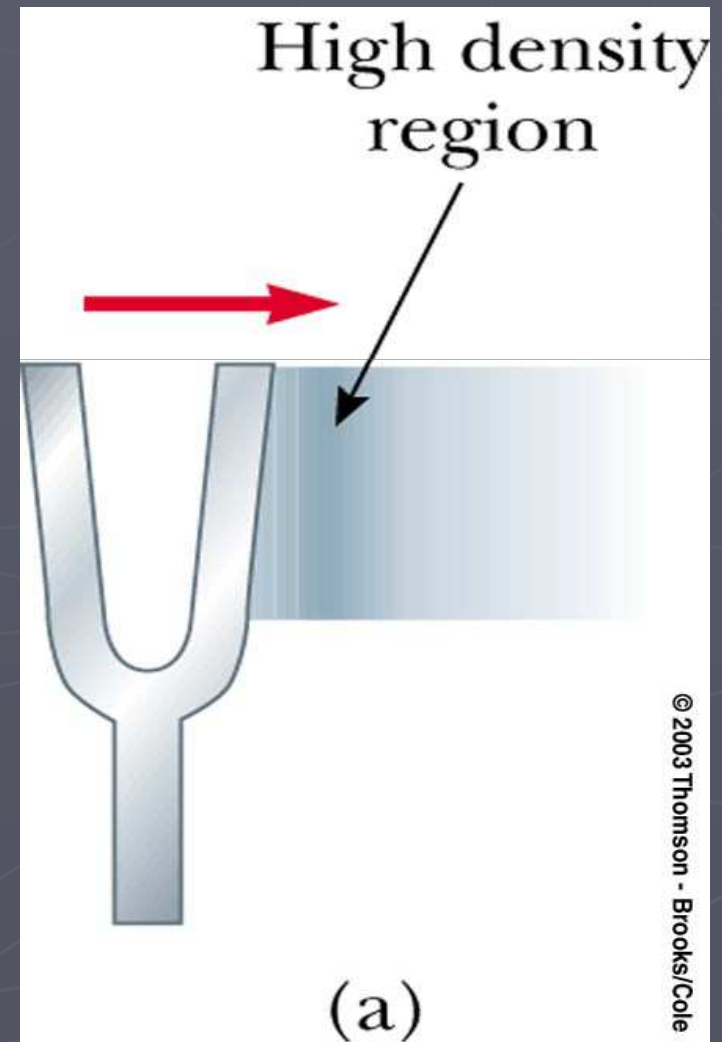


Penghasil Gelombang Bunyi

- ▶ Gelombang bunyi adalah **gelombang longitudinal** yang merambat melalui sebuah medium
- ▶ Sebuah garpu tala dapat digunakan sebagai contoh penghasil gelombang bunyi

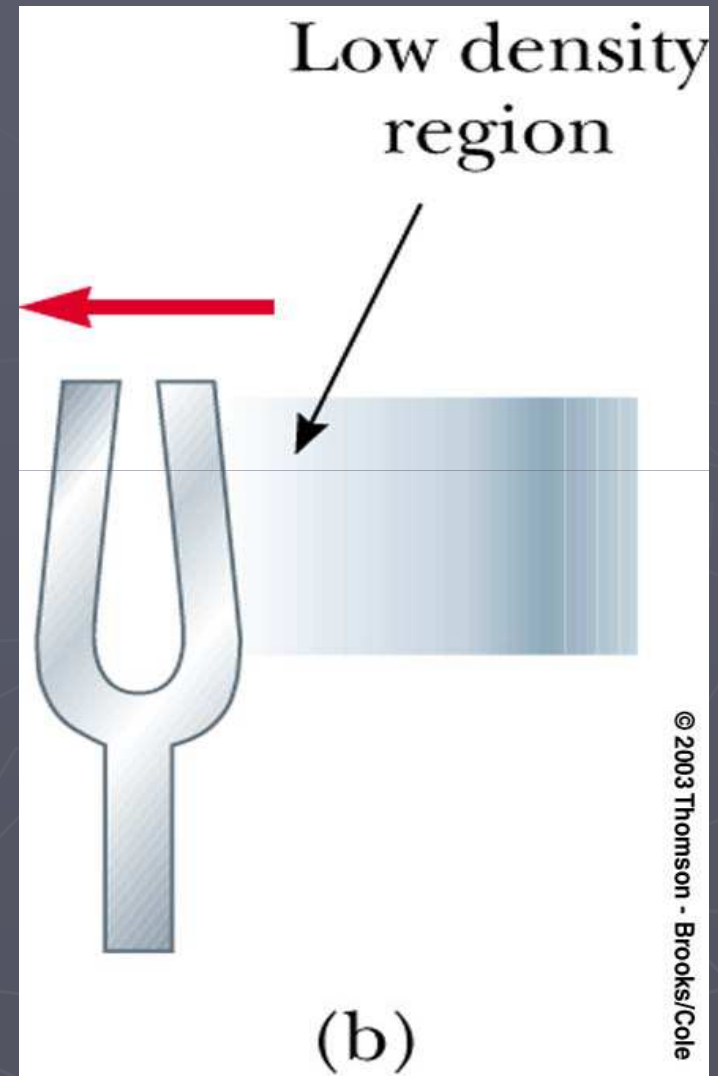
Penggunaan Garpu Tala Untuk Menghasilkan Gelombang Bunyi

- ▶ **Garpu tala** akan menghasilkan sebuah nada yang murni
- ▶ Ketika garpu bergetar, getarannya akan mengganggu udara disekitarnya
- ▶ Ketika garpu di tarik ke kanan, akan memaksa molekul udara disekitarnya saling berdekatan
- ▶ Hal ini menghasilkan daerah dengan kerapatan yang tinggi pada udara
 - Daerah ini adalah **mampatan** (*compression*)

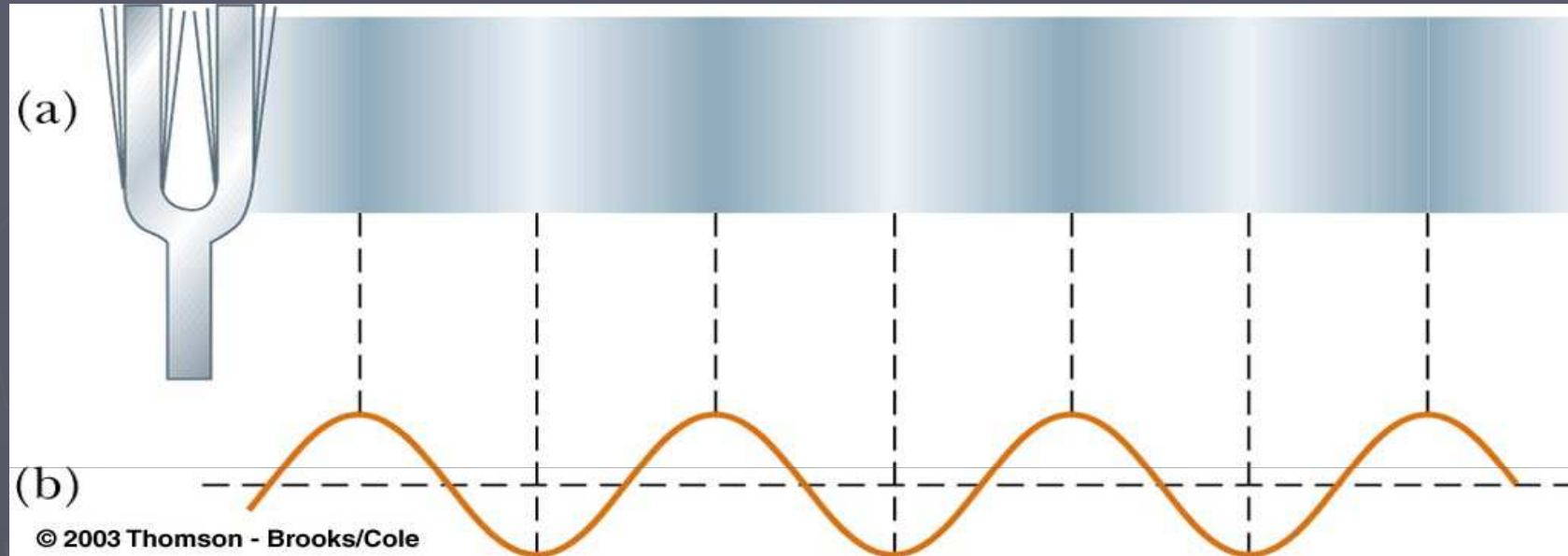


Penggunaan Garpu Tala (lanjutan)

- ▶ Ketika garpu di tekan ke kiri (saling berdekatan), molekul-molekul udara di sebelah kanan garpu akan saling merenggang
- ▶ Menghasilkan daerah dengan kerapatan yang rendah
 - Daerah ini disebut **regangan** (*rarefaction*)



Penggunaan Garpu Tala (lanjutan)



- ▶ Ketika garpu tala terus bergetar, serangkaian **mampatan (compression)** dan **regangan (rarefaction)** menjalar dari garpu
- ▶ Kurva sinusoidal dapat digunakan untuk menggambarkan gelombang longitudinal
 - Puncak sesuai dengan mampatan dan lembah sesuai dengan regangan

Kategori Gelombang Bunyi

- ▶ **Gelombang yang dapat didengar (audible)**
 - Dalam jangkauan pendengaran telinga manusia
 - Normalnya antara 20 Hz sampai 20.000 Hz
- ▶ **Gelombang Infrasonik**
 - Frekuensinya di bawah 20 Hz
- ▶ **Gelombang Ultrasonik**
 - Frekuensinya di atas 20.000 Hz

Aplikasi dari Gelombang Ultrasonik

- ▶ Dapat digunakan untuk menghasilkan gambar dari benda yang kecil
- ▶ Secara lebih luas digunakan sebagai alat diagnosa dan pengobatan di bidang medis
 - Ultrasonik flow meter untuk mengukur aliran darah
 - Dapat menggunakan alat *piezoelectrik* yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik
 - ▶ Kebalikannya: **mekanik ke listrik**
 - Ultrasound untuk mengamati bayi di dalam kandungan
 - Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator (CUSA) digunakan dalam proses pembedahan untuk mengangkat tumor otak

Laju Gelombang Bunyi

$$v = \sqrt{\frac{\text{sifat elastisitas medium}}{\text{sifat inersial medium}}}$$

- ▶ Laju gelombang bunyi lebih tinggi dalam zat padat daripada dalam gas
 - Molekul-molekul dalam zat padat berinteraksi lebih kuat
- ▶ Laju gelombang bunyi lebih rendah dalam zat cair daripada dalam zat padat
 - Zat cair lebih kompressible

Laju Gelombang Bunyi di Udara

$$v = \left(331 \frac{m}{s}\right) \sqrt{\frac{T}{273 K}}$$

- ▶ 331 m/s adalah laju gelombang bunyi pada 0° C
- ▶ T adalah **suhu mutlak** ($T = t_c + 273$) K

Intensitas Gelombang Bunyi

- ▶ **Intensitas** dari gelombang adalah laju aliran energi yang melewati luas tertentu, A , arahnya tegak lurus dengan arah penjalaran gelombang

$$I = \frac{\Delta E}{A \Delta t} = \frac{P}{A}$$

- ▶ P adalah daya, laju energi yang di transfer
- ▶ Satuannya adalah W/m^2

Jenis Intensitas Gelombang Bunyi

► Ambang Pendengaran

- Bunyi terendah yang bisa didengar manusia
- Sekitar $1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

► Ambang Rasa Sakit

- Bunyi terkeras yang masih bisa di toleransi manusia
- Sekitar 1 W/m^2

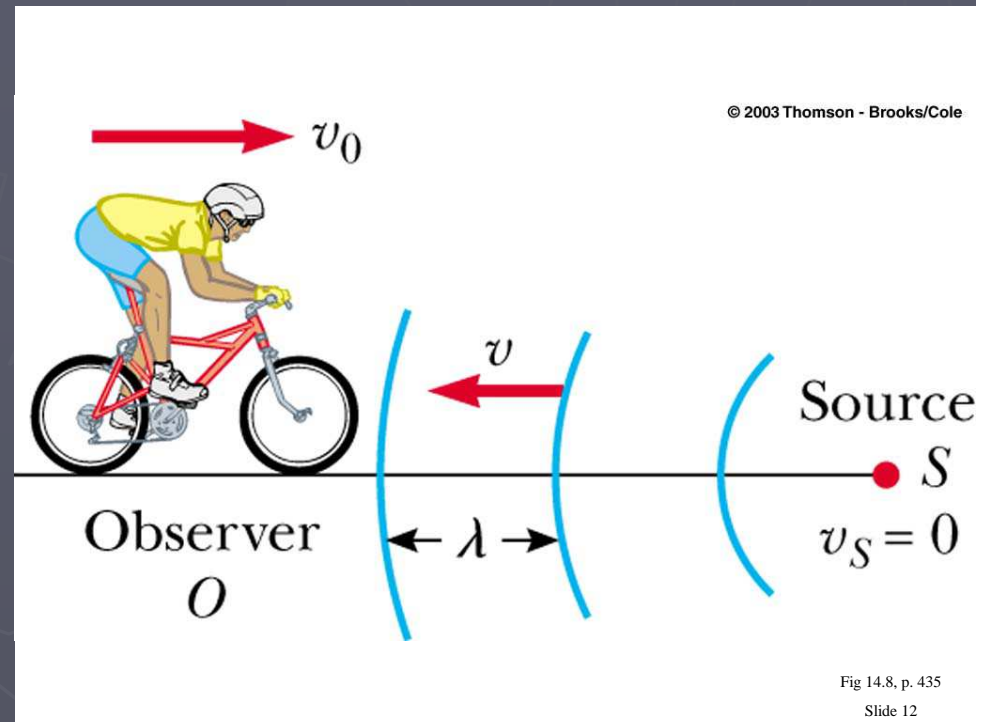
- Telinga adalah detektor yang sensitif teradap gelombang bunyi

Efek Doppler

- ▶ Efek Doppler muncul ketika terdapat gerak relatif antara sumber gelombang dan pengamat
 - Ketika sumber dan pengamat saling mendekat, pengamat mendengar frekuensi yang lebih tinggi daripada frekuensi sumber
 - Ketika sumber dan pengamat saling menjauh, pengamat mendengar frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi sumber
- ▶ Meskipun Efek Doppler biasanya terjadi pada gelombang bunyi, fenomena tersebut terjadi juga pada gelombang yang lain

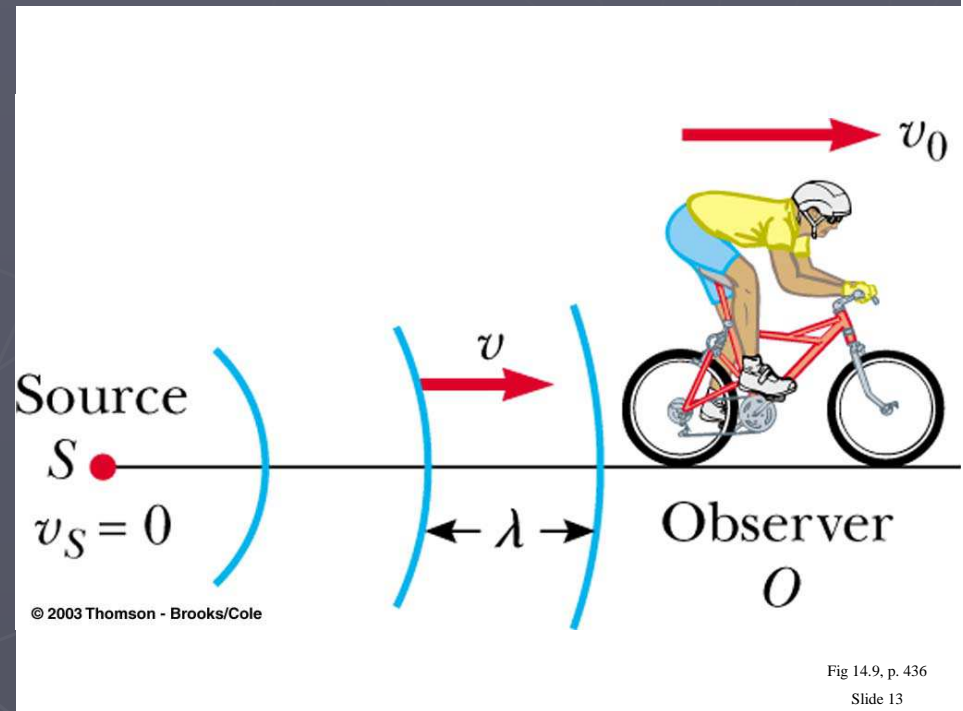
Efek Doppler, Kasus 1

- ▶ Pengamat mendekati sumber yang diam
- ▶ Untuk pergerakan ini, pengamat merasakan penambahan jumlah muka gelombang
- ▶ Frekuensi yang terdengar bertambah



Efek Doppler, Kasus 2

- ▶ Pengamat menjauhi sumber yang diam
- ▶ Pengamat merasakan lebih sedikit muka gelombang per detik
- ▶ Frekuensi yang terdengar lebih rendah



Efek Doppler, Akibat Pengamat yang Bergerak

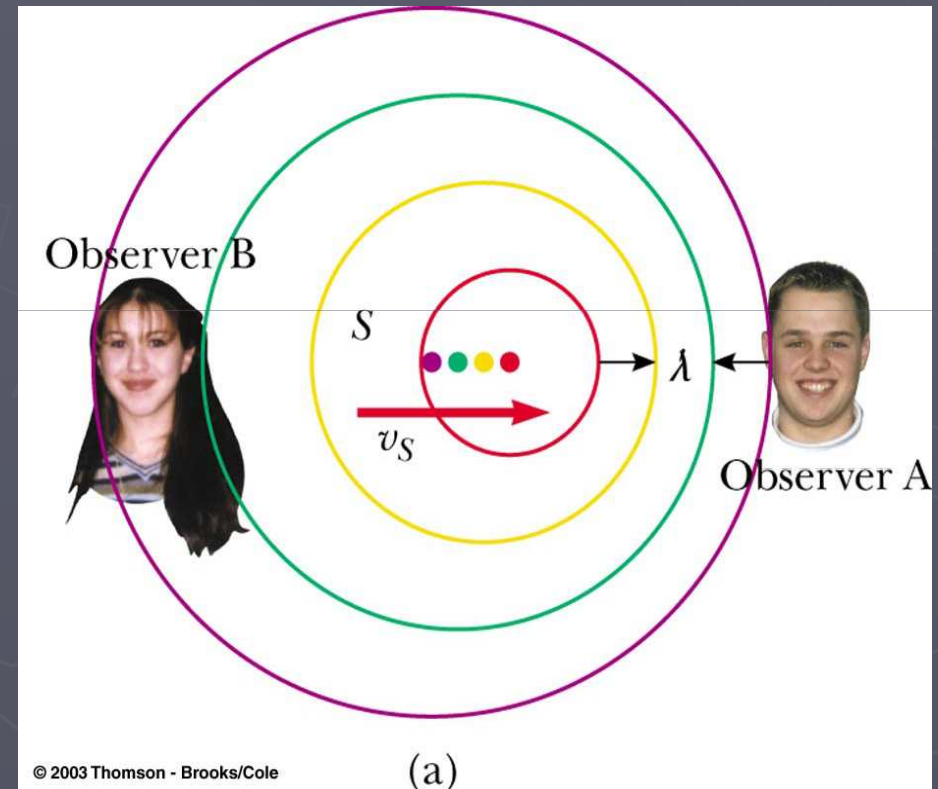
- ▶ Frekuensi yang terdengar, f' , bergantung pada frekuensi bunyi sebenarnya dan laju

$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v} \right)$$

- ▶ v_o positif jika pengamat bergerak mendekati sumber dan negatif jika pengamat bergerak menjauhi sumber

Efek Doppler, Sumber yang Bergerak

- ▶ Ketika sumber bergerak mendekati pengamat (A), panjang gelombang yang muncul lebih pendek dan frekuensinya bertambah
- ▶ Ketika sumber bergerak menjauhi pengamat (B), panjang gelombang yang muncul lebih panjang dan frekuensinya berkurang



Animasi 11.14

Animasi 11.15

Efek Doppler, Sumber Bergerak (lanjutan)

$$f' = f \left(\frac{v}{v - v_s} \right)$$

- ▶ $-v_s$ ketika sumber bergerak mendekati pengamat dan $+v_s$ ketika sumber bergerak menjauhi pengamat

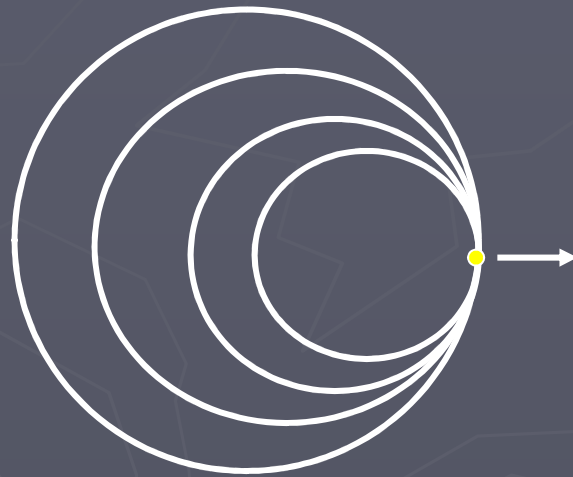
Efek Doppler, Pengamat dan Sumber Sama-sama Bergerak

- ▶ Ketika sumber dan pengamat sama-sama bergerak

$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right)$$

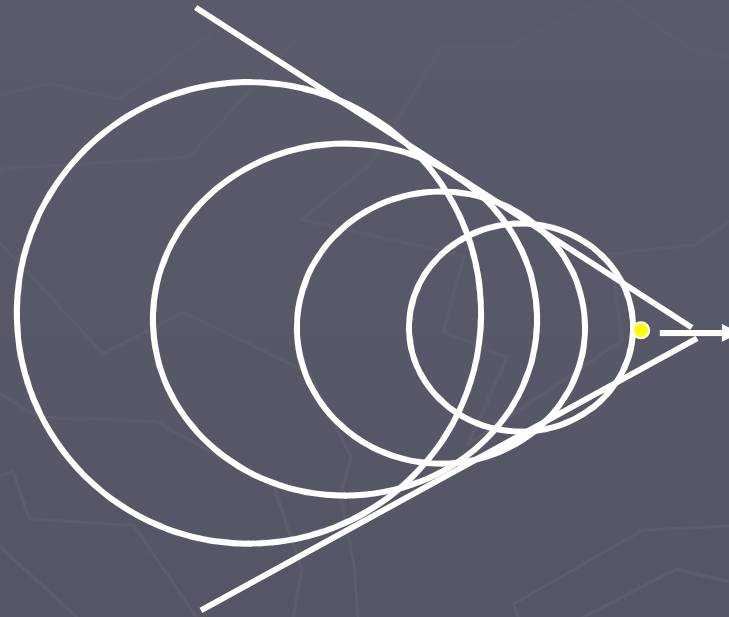
- ▶ v_o dan v_s positif jika bergerak saling mendekat
 - Frekuensi yang terdengar lebih tinggi
- ▶ v_o dan v_s negatif jika bergerak saling menjauh
 - Frekuensi yang terdengar lebih rendah

Apa yang terjadi ketika laju sumber sama dengan laju gelombang!



Terjadi "Barrier" gelombang

Apa yang terjadi ketika laju sumber lebih besar dari laju gelombang!



Terjadi gelombang "Bow"

Speedboat

→ terjadi gelombang "Bow" 2-D

Pesawat supersonik

→ terjadi gelombang "Bow" 3-D → shock wave

Interferensi Gelombang Bunyi

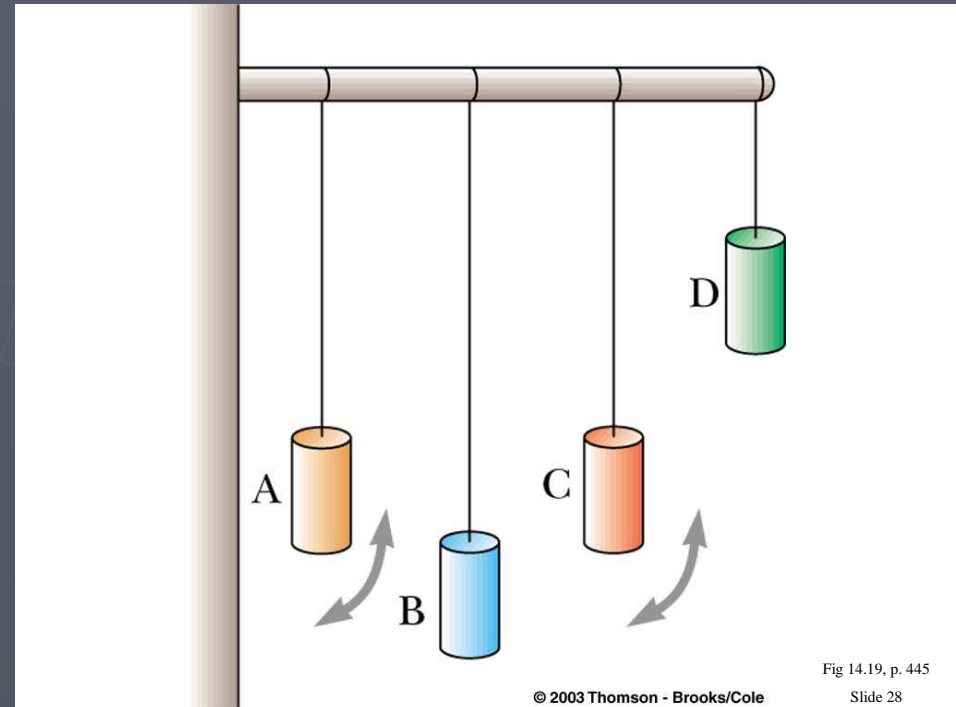
- ▶ Interferensi gelombang bunyi
 - **Interferensi Konstruktif** terjadi ketika perbedaan lintasan antara dua gelombang adalah nol atau **kelipatan bulat**
 - ▶ Beda lintasan = $n\lambda$
 - **Interferensi Destruktif** terjadi ketika perbedaan lintasan antara dua gelombang adalah setengah kelipatan bulat
 - ▶ Beda lintasan = $(n + \frac{1}{2})\lambda$

Getaran Terpaksa

- ▶ Sebuah sistem dengan gaya pengendali akan mengakibatkan getaran yang terjadi sesuai dengan frekuensinya
- ▶ Ketika frekuensi gaya pengendali sama dengan frekuensi alami sistem, sistem dikatakan berada dalam *resonansi*

Contoh dari Resonansi

- ▶ Bandul A digetarkan
- ▶ Bandul yang lain mulai bergetar karena getaran pada tiang yang lentur
- ▶ Bandul C beresonansi pada amplitudo yang besar karena panjangnya, dan frekuensinya sama dengan bandul A



Contoh Resonansi yang lain!

Telinga

- ▶ Bagian luar telinga terdiri atas saluran telinga (**ear canal**) yang berakhir pada gendang telinga (**eardrum**)
- ▶ Bagian di belakang gendang telinga termasuk bagian tengah telinga
- ▶ Tulang belulang di bagian tengah telinga mengirimkan bunyi ke bagian dalam telinga

