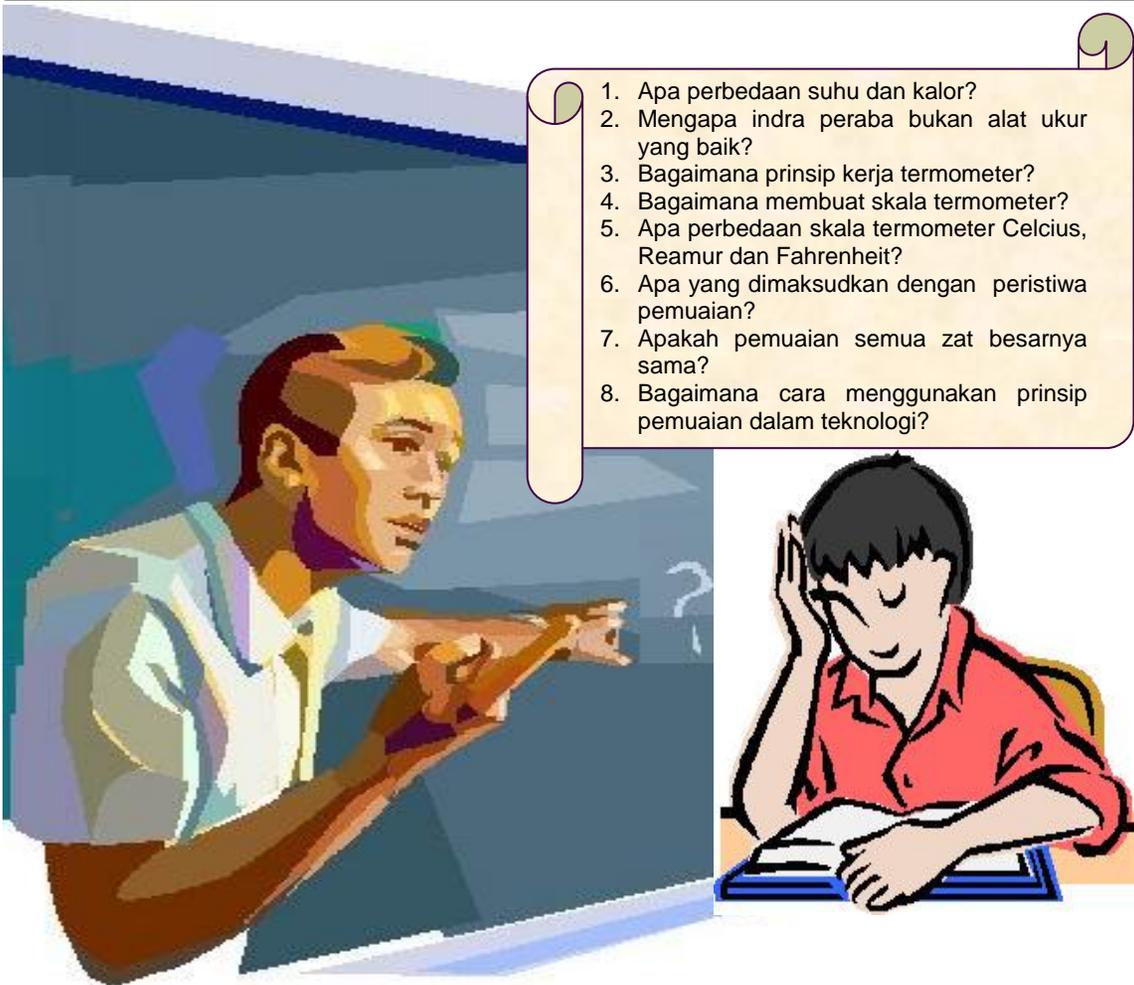


BAB XI

SUHU DAN PEMUAIAN

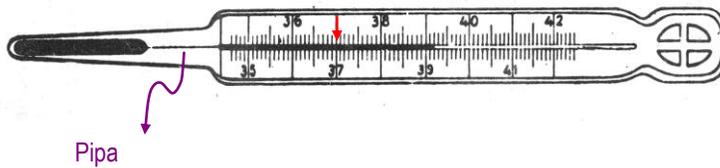


1. Apa perbedaan suhu dan kalor?
2. Mengapa indra peraba bukan alat ukur yang baik?
3. Bagaimana prinsip kerja termometer?
4. Bagaimana membuat skala termometer?
5. Apa perbedaan skala termometer Celcius, Reamur dan Fahrenheit?
6. Apa yang dimaksudkan dengan peristiwa pemuaian?
7. Apakah pemuaian semua zat besarnya sama?
8. Bagaimana cara menggunakan prinsip pemuaian dalam teknologi?

Pada saat belajar di Sekolah Dasar (SD) kita sudah mengetahui bahwa suhu menyatakan derajat panas atau dinginnya suatu benda. Benda yang suhunya tinggi, akan lebih panas dari benda yang suhunya rendah. Sebaliknya benda yang suhunya rendah, akan lebih dingin dari benda yang suhunya tinggi. Bagaimanakah cara mengukur suhu dan bagaimanakah alat pengukur suhu itu dibuat? Untuk mengetahui hal itu, pelajari dengan baik uraian materi berikut ini.

11.1. SUHU DAN PENGUKURANNYA

Banyak diantara kita yang sudah mengenal termometer, terutama termometer untuk mengukur suhu badan. Tahukah kalian berapa suhu badan orang sehat dan berapakah suhu badan orang yang sedang sakit?



Gambar 11-1. Termometer

Bentuk termometer badan lebih relatif lebih pendek dari termometer yang biasa kita gunakan di laboratorium, sebab lebar rentang suhu termometer badan hanya dari 35⁰C sampai 42⁰C.

Kecilnya rentang suhu pada termometer badan disebabkan karena suhu badan yang sehat berkisar diantara 36⁰C sampai 37⁰C dan tidak ada manusia yang bisa hidup dengan suhu badan di bawah 35⁰C atau di atas 42⁰C.

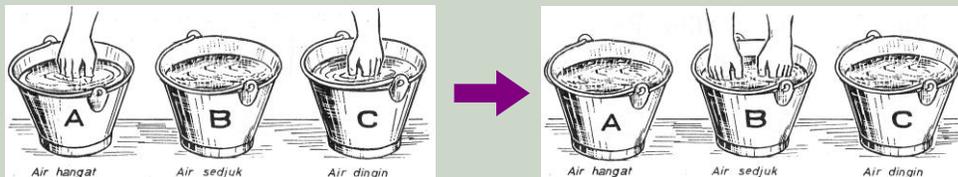
Leher botol penyimpan raksa pada termometer badan sengaja dibuat lebih sempit dari pipa di atasnya, agar raksa yang sudah memuai dan masuk ke dalam pipa panjang, tidak dapat turun lagi dengan sendirinya ke botol penyimpanan raksa. Maka suatu hasil pengukuran akan dapat terekam dalam waktu lama tanpa mengalami perubahan. Jika termometer badan itu akan dipakai lagi, maka terlebih dahulu harus dikibas-kibaskan ke bawah agar raksa yang sudah memuai semuanya kembali ke dalam botol penyimpanan raksa.

Dengan menggunakan indra peraba, kita hanya dapat membedakan benda panas, hangat dan dingin. Tetapi untuk perbedaan suhu yang relatif kecil, indra peraba akan sulit menentukan mana yang lebih panas dan mana yang lebih dingin. Indra peraba juga sering melakukan kesalahan dalam mendeteksi panas dinginnya suatu benda, tahukah kalian mengapa demikian? Untuk mengetahui hal itu, lakukan percobaan 11-1 secara berkelompok.

Tugas percobaan 11-1

Prosedur percobaan :

1. Siapkan tiga ember plastik, masing-masing diisi air hangat, air sejuk dan air dingin
2. Mula-mula masukkan tangan kanan ke dalam air hangat dan tangan kanan ke dalam air dingin seperti gambar.



3. Setelah cukup lama, angkat kedua tangan dan masukkan ke dalam air biasa. Apakah kedua tangan akan merasakan panas atau dingin yang sama?

Pertanyaan :

1. Coba jelaskan hasil percobaan yang diperoleh?
2. Kesimpulan apakah yang diperoleh dari hasil percobaan tersebut?

Tangan yang mula-mula hangat akan merasakan air sejuk menjadi dingin, sedangkan tangan yang mula-mula dingin akan merasakan air sejuk menjadi hangat. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa indra peraba tidak dapat dipakai untuk mengukur suhu benda secara tepat, sebab cara kerja indra peraba sangat bergantung pada perasaan yang bersifat relatif. Kelemahan yang lain indra peraba tidak bisa dipakai menyentuh benda yang terlalu panas dan dingin, sebab dapat merusak jaringan tubuh pada indra peraba tersebut.

Termometer adalah alat yang dipakai untuk mengukur suhu suatu benda. Ada bermacam-macam termometer, yaitu *termometer zat cair*, *termometer gas* dan *termometer zat padat*. Pada kesempatan ini yang akan dibahas hanyalah termometer zat cair, yaitu termometer yang prinsip kerjanya menggunakan sifat-sifat pemuaiian zat cair. Jenis zat cair yang banyak digunakan adalah raksa dan alkohol. Secara kasat mata kedua jenis termometer tersebut mudah dibedakan, sebab raksa berwarna perak mengkilat, sedangkan alkohol berwarna merah.

Keuntungan menggunakan raksa dalam pipa termometer adalah :

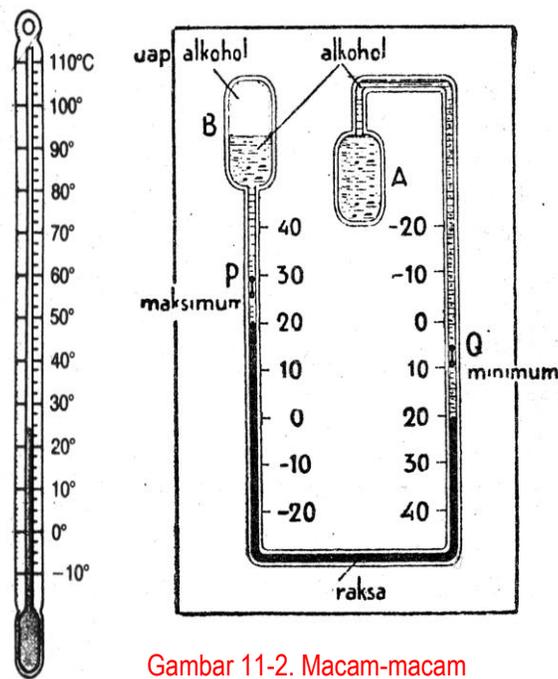
1. Mudah di amati karena mengkilat
2. Pemuaiannya teratur
3. Tidak membasahi dinding kaca
4. Rentang suhunya lebar, mencapai (-40⁰C sampai 350⁰C)
5. Mudah menghantarkan panas

Kerugian menggunakan raksa sebagai pengisi tabung termometer adalah

1. Harganya mahal
2. Berifat sebagai racun, sehingga kalau pecah harus berhati-hati

Contoh termometer zat cair yang menggunakan raksa adalah termometer badan. Termometer di laboratorium ada yang menggunakan raksa dan ada menggunakan alkohol.

Titik beku alkohol -130⁰C dan titik didihnya 78⁰C, sehingga baik dipergunakan untuk mengukur suhu yang rendah. Rentang suhu termometer raksa yang banyak di laboratorium sekolah antara -10⁰C sampai 110⁰C. Jenis termometer yang lain adalah termometer maksimum-minimum Six Bellani yang dapat digunakan untuk mencatat suhu tertinggi dan terendah dalam suatu kurun waktu tertentu, misalnya dalam satu hari. Setiap memulai pengukuran, besi kecil P dan Q dalam pipa termometer yang berfungsi sebagai petunjuk suhu maksimum dan minimum, harus di atur letaknya dengan menggunakan magnet kecil.

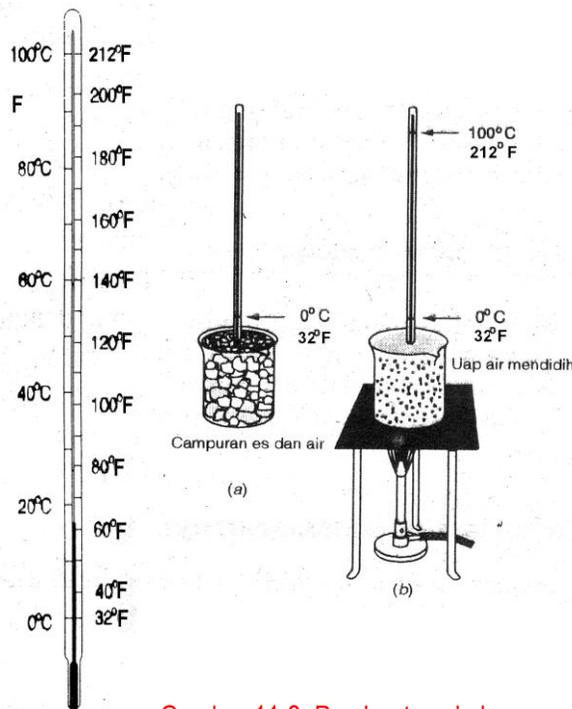


Gambar 11-2. Macam-macam

Dalam sistim satuan internasional (SI) suhu adalah besaran pokok dengan satuan *derajat kelvin* ($^{\circ}\text{K}$). Skala termometer Kelvin adalah sama dengan skala termometer Celcius, sebab perubahan satu derajat Kelvin sama saja dengan perubahan satu derajat Celcius. Perbedaannya adalah suhu 0°K sama dengan suhu -273°C yang disebut sebagai *suhu nol absolut* (mutlak). Maka hubungan suhu Celcius (C) dengan suhu Kelvin (T) adalah :

$$T = (C + 273)^{\circ}\text{K} \text{ atau } C = (T - 273)^{\circ}\text{K} \dots\dots\dots (11-1)$$

Selain termometer berskala Celcius, ada juga termometer yang berskala Reamur dan Fahrenheit. Skala Reamur sudah tidak digunakan lagi, tetapi skala



Gambar 11-3. Pembuatan skala

Fahrenheit masih banyak negara yang menggunakan. Itulah sebabnya termometer dinding banyak yang menggunakan dua sistem skala, yaitu skala Celcius dan skala Fahrenheit. Pembuatan skala pada termometer Fahrenheit menggunakan suhu es dicampur garam sebagai titik tetap bawah yang dinyatakan sebagai suhu 0°F , sedangkan titik tetap atasnya menggunakan suhu tubuh orang sehat yang dinyatakan sebagai suhu 96°F . Pembuatan skala pada termometer Celcius menggunakan suhu es mencair sebagai titik tetap bawah yang dinyatakan sebagai suhu 0°C , sedangkan titik tetap atasnya menggunakan suhu air mendidih yang dinyatakan sebagai suhu 100°C .

Titik tetap yang dipergunakan Celcius lebih memenuhi syarat yaitu selalu tetap pada tekanan udara 1 atmosfer, maka skala termometer Fahrenheit harus ditera dengan cara pembuatan sistem skala Celcius. Ternyata hasilnya suhu 0°C sama dengan 32°F dan 100°C sama dengan 212°F . Berarti 100 skala Celcius sama dengan 180 skala Fahrenheit, atau perbandingan skala Celcius dan skala Fahrenheit adalah $100 : 180 = 5 : 9$

Karena suhu harus dinyatakan diatas nol atau di bawah nol, dan suhu 0°C sama dengan suhu 32°F , maka hubungan suhu Celcius dan suhu Fahrenheit adalah sebagai berikut :

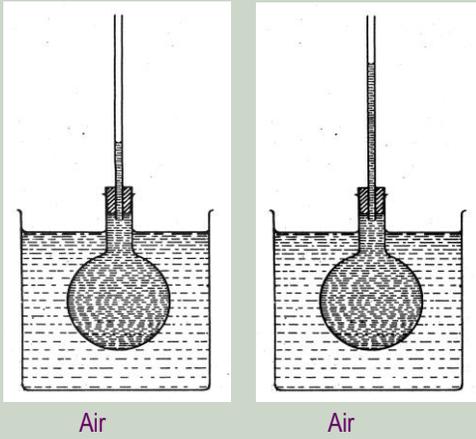
$$F = \left(\frac{9}{5}C + 32 \right)^{\circ}\text{F} \text{ atau } C = \frac{5}{9} (F - 32)^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (11-2)$$

Kita juga dapat membuat sistem skala termometer sendiri, tetapi hasilnya harus ditera agar sesuai dengan sistem skala Celcius. Untuk mengetahui bagaimana caranya, lakukan percobaan 11-2 secara berkelompok.

Tugas percobaan 11-2

Prosedur percobaan :

1. Persiapkan dua baskom plastik, sebuah labu kaca bekas lampu pijar, sumbat karet berlubang, pipa kaca dan termometer berskala Celcius.
2. Buat sebuah termometer air dengan menggunakan labu kaca bekas lampu pijar, sumbat karet dan pipa kaca seperti gambar



3. Masing-masing baskom diisi air sejuk dan air hangat, ukur berapa suhu air sejuk dan air hangat tersebut.
4. Masukkan labu kaca ke dalam air biasa, tunggu sampai permukaan air dalam pipa seimbang. Setelah seimbang beri garis skala pada pipa kaca tepat dipermukaan air tersebut dan tuliskan angka suhu air biasa pada garis skala tersebut.
5. Ulangi percobaan tersebut dengan memasukkan labu kaca ke dalam air hangat.

Pertanyaan :

1. Berapakah suhu titik tetap bawah dan suhu titik tetap atas termometer air tersebut?
2. Berdasarkan letak garis skala suhu titik tetap bawah dan garis skala suhu titik tetap atas tersebut, buatlah garis-garis skala yang lain agar termometer dapat membaca perubahan suhu sebesar satu derajat.
3. Setelah selesai demonstrasikan penggunaan termometer itu di depan kelas. Apakah hasil pengukurannya sama dengan termometer yang sudah ada?

Contoh Soal dan Jawabannya

1. Jika suhu suatu ruangan dinyatakan 298°K , berapakah suhu tersebut jika dinyatakan dalam skala Celcius dan Fahrenheit?

Diketahui : $T = 298^{\circ}\text{K}$

Ditanyakan : $C = \dots\dots^{\circ}\text{C}$ dan $F = \dots\dots^{\circ}\text{F}$?

Jawaban : $T = (C + 273)^{\circ}\text{K}$

$$298 = (C + 273) \longrightarrow C = 298 - 273 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$F = \left(\frac{9}{5}C + 32\right)^{\circ}\text{F} \longrightarrow F = \frac{9}{5}25 + 32 = 77^{\circ}\text{F}$$

2. Jika suhu suatu benda suhunya 86°F , berapakah suhu tersebut jika dinyatakan dalam skala Celcius dan Kelvin?

Diketahui : $F = 86^{\circ}\text{K}$

Ditanyakan : $C = \dots\dots^{\circ}\text{C}$ dan $T = \dots\dots^{\circ}\text{K}$?

$$\text{Jawaban : } C = \frac{5}{9}(F - 32)^{\circ}\text{C} \longrightarrow C = \frac{5}{9}(86 - 32) = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T = (C + 273)^{\circ}\text{K} \longrightarrow T = (30 + 273) = 303^{\circ}\text{K}$$

11.2. PEMUAIAN ZAT PADAT, CAIR DAN GAS

Suatu benda dikatakan memuai, jika pada saat dipanaskan atau didinginkan volumenya membesar atau mengecil. Karena pada saat dipanaskan atau didinginkan suhu benda berubah, maka perubahan suhu benda mempengaruhi besar pemuaian benda tersebut.

Apakah semua benda akan memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan? Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi besar pemuaian suatu benda? Untuk mengetahui hal itu, pelajari dengan baik uraian materi berikut.

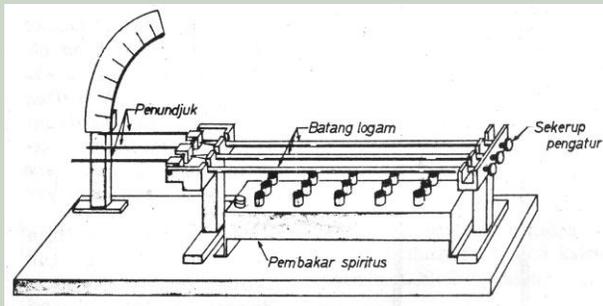
1. Pemuaian benda padat

Kita telah mengetahui bahwa benda padat bentuknya relatif tetap dibandingkan dengan benda cair dan gas. Hal itu disebabkan karena gaya tarik-menarik antara partikel-partikelnya sangat kuat. Apakah jika dipanaskan zat padat akan memuai dan jika didinginkan akan menyusut? Untuk mengetahui hal itu, lakukan percobaan 11-2 secara berkelompok.

Tugas percobaan 11-2

Prosedur percobaan :

1. Persiapkan perangkat alat Musschenbroek lengkap dengan beberapa jenis logam yang sama panjang dan sebuah pembakar spiritus yang lebar.



2. Setelah semua logam terpasang dengan baik, atur semua jarum petunjuk agar sejajar pada skala paling bawah.
3. Hidupkan pembakar spiritus secara merata, agar seluruh logam mengalami perubahan suhu yang sama. Amati apakah yang terjadi?

Pertanyaan :

1. Apakah semua jarum petunjuk akan menyimpang dengan besar sudut yang sama?
2. Apakah yang terjadi jika semua logam didinginkan dengan cara mematikan api pembakar spiritusnya?
3. Kesimpulan apakah yang diperoleh dari hasil percobaan tersebut? Jelaskan!

Pada prinsipnya setiap pemuaian merupakan pemuaian volume, sebab pemuaian suatu benda menuju kesegala arah. Tetapi pada percobaan Mussenbroek pemuaian benda batang disebut pemuaian panjang, sebab pemuaian dalam arah panjang jauh lebih besar dari pemuaian arah lebar dan tebal benda.

Beberapa hal yang perlu dipahami dalam peristiwa pemuaian panjang adalah sebagai berikut :

1. Hampir semua benda padat akan memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan
2. Besar pemuaian panjang suatu benda padat dipengaruhi oleh :
 - a. Perubahan suhu benda : artinya semakin besar perubahan suhu benda, maka pemuaiannya akan semakin besar
 - b. Panjang mula-mula benda : artinya semakin besar panjang mula-mula benda, maka pemuaiannya akan semakin besar
 - c. Jenis benda : artinya benda yang panjang mula-mulanya sama dan mengalami perubahan suhu yang sama, akan mengalami pemuaian yang berbeda jika jenis bendanya berbeda-beda.

Sebagai contoh coba kalian perhatikan dengan baik, data pemuaian panjang besi sebagai berikut.

Panjangmula-mula (L_0)	Perubahansuhu (Δt)	Besar pemuaian (ΔL)
10 m	10° C	$1,2 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-5} (10) (10)$
10 m	20° C	$2,4 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-5} (10) (20)$
20 m	20° C	$4,8 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-5} (20) (20)$
.	.	.
.	.	.
L_0	Δt	$1,2 \cdot 10^{-5} (L_0) (\Delta t)$

Berdasarkan pola keteraturan yang terlihat pada besar pemuaian tersebut, ternyata diperoleh suatu bilangan yang selalu tetap yaitu $1,2 \cdot 10^{-5}$. Bilangan inilah yang disebut sebagai *koefisien muai panjang besi*. Simbol yang dipergunakan untuk koefisien muai panjang adalah α (baca alpha), sehingga dalam bentuk persamaan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (11-3)$$

- Dengan : ΔL = besar pemuaian, satuannya (m)
 Δt = perubahan suhu, satuannya (°C)
 α = koefisien muai panjang, satuannya (°C⁻¹)

Tabel 11-1

Koefisien muai panjang beberapa jenis bahan

Jenis bahan	Koefisien muai panjang (°C ⁻¹)	Jenis bahan	Koefisien muai panjang (°C ⁻¹)
Aluminium	0,000025= $2,5 \cdot 10^{-5}$	Platina	0,0000098= $9,8 \cdot 10^{-6}$
Tembaga	0,000017= $1,7 \cdot 10^{-5}$	Gelas biasa	0,000009 = $0,9 \cdot 10^{-5}$
Besi	0,000012= $1,2 \cdot 10^{-5}$	Gelas pyrex	0,000003 = $0,3 \cdot 10^{-5}$
Baja	0,000011= $1,1 \cdot 10^{-5}$		

Karena besar pemuaian adalah : $\Delta L = (L_t - L_0)$
 L_0 = panjang pada suhu $t_0 = 0^\circ\text{C}$
 L_t = panjang pada suhu $t^\circ\text{C}$

Maka berdasarkan persamaan (11-3), panjang benda setelah memuai dapat ditentukan dengan persamaan :

$$L_t = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) \dots\dots\dots (11-4)$$

Contoh Soal dan Jawabannya

Panjang sebatang rel kereta api 25 m pada suhu 0°C, berapakah besar pemuaian panjang rel itu pada suhu 40°C? Diketahui koefisien muai panjang besi baja adalah $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Diketahui : $t_0 = 0^\circ\text{C}$ $t = 40^\circ\text{C}$
 $L_0 = 25 \text{ m}$ $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Ditanyakan : $\Delta L = \dots ?$

Jawaban : $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}$

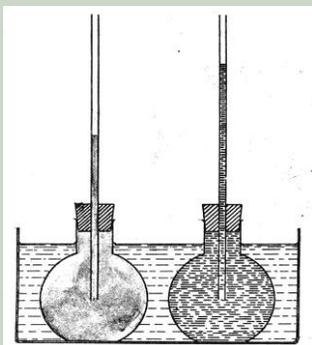
$$1,2 \cdot 10^{-5} = \frac{\Delta L}{25 \cdot 40} \longrightarrow \Delta L = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 1,2 \text{ cm}$$

2. Pemuaian benda cair

Pada umumnya benda cair memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan. Karena sifat benda cair yang selalu mengikuti bentuk tempatnya, maka pemuaian benda cair merupakan pemuaian volume. Untuk mengetahui sifat-sifat pemuaian zat cair, lakukan percobaan 11-3 secara berkelompok.

Tugas percobaan 11-3

Prosedur percobaan :



1. Persiapkan sebuah bejana lebar dari plastik, dua labu kaca bekas lampu pijar yang sama besar, dua sumbat karet berlubang dan dua pipa kaca
2. Isi masing-masing labu kaca dengan air dan alkohol, tutup rapat dan atur agar permukaan zat cair pada pipanya sama tinggi.
3. Masukkan ke dua labu kaca ke dalam bejana yang telah diisi air hangat, kemudian perhatikan apa yang terjadi

Pertanyaan :

1. Apakah kedua permukaan zat cair tersebut naik dengan ketinggian yang sama?
2. Apakah yang terjadi jika kedua labu kaca didinginkan dengan jalan menambahkan air dingin ke dalam bejana?
3. Kesimpulan apakah yang diperoleh dari hasil percobaan tersebut?

Dengan prinsip yang sama seperti dalam pemuaian panjang, maka besar pemuaian volume ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu jenis benda cair, perubahan suhu benda cair dan volume benda cair tersebut.

Besar koefisien muai volume (γ) suatu benda dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (11-5)$$

- Dengan :
- $\Delta V = (V_t - V_0)$ adalah besarnya pemuaian, satuannya (m^3)
 - V_0 = volume pada suhu $t_0 = 0^\circ C$, satuannya (m^3)
 - V_t = volume pada suhu $t^\circ C$, satuannya (m^3)
 - $\Delta t = (t - t_0)$ adalah perubahan suhu, satuannya ($^\circ C$)
 - γ = koefisien muai volume, satuannya ($^\circ C^{-1}$)

Berdasarkan persamaan (11-5), maka volume benda setelah memuai adalah :

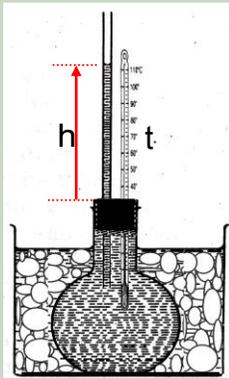
$$V_t = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta t) \dots\dots\dots (11-6)$$

Karena pemuaian volume kesegala arah (tiga dimensi) sedangkan pemuaian panjang hanya ke satu arah (satu dimensi), maka hubungan antara koefisien muai volume dengan koefisien muai panjang benda adalah :

$$\gamma = 3\alpha \dots\dots\dots (11-7)$$

Tugas percobaan 11-4

Prosedur percobaan :

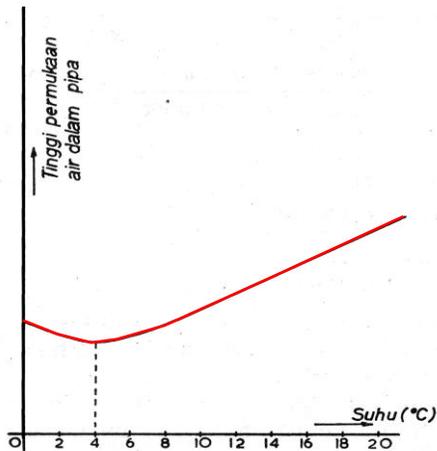


1. Siapkan sebuah labu kaca bekas lampu pijar yang telah diisi penuh air, ditutup rapat dengan sumbat karet berisi pipa kaca dan termometer. Usahakan air yang naik pada pipa kaca cukup tinggi.
2. Catat suhu air dalam labu (t) dan tinggi air pada pipa (h)
3. Masukkan labu kaca ke dalam bejana yang berisi es dan garam, sehingga suhunya bisa mencapai $0^\circ C$.
4. Catat berapa suhu (t) dan tinggi air (h) setiap satu menit, sampai suhu air di dalam labu mencapai $0^\circ C$. Catat semua data tersebut dalam tabel secara sistematis.
5. Buat grafik hubungan antara suhu (t) dan ketinggian air (h) pada kertas grafik. Ketinggian air pada pipa sebanding dengan perubahan volume air dalam labu, sehingga dapat dikatakan sebagai volume benda.

Pertanyaan :

Kesimpulan apakah yang di peroleh dari hasil percobaan tersebut? Jelaskan!

Mungkin kalian pernah membeli es yang diparut, mula-mula jumlah es yang dimasukkan ke dalam mangkok sangat penuh sampai menggunung. Tetapi setelah es mencair, ternyata tidak ada yang tumpah, malahan isi mangkoknya menjadi tidak penuh. Tahukah kalian mengapa demikian? Peristiwa yang lain adalah menyimpan botol ke dalam almasi pendingin yang penuh berisi air dan ditutup rapat, jika airnya membeku maka botol akan pecah. Semua kejadian tersebut menunjukkan bahwa es pada saat mencair volumenya mengecil, sedangkan air pada saat membeku volumenya membesar.



Gambar 11-4. Grafik

Hubungan antara perubahan suhu dan volume air yang ditunjukkan oleh tinggi air dalam pipa, dapat dilukiskan seperti grafik di samping. Dari grafik tersebut diketahui bahwa sifat pemuaian air pada suhu di bawah 4°C berbeda dengan pemuaian benda-benda pada umumnya. Sebab “pada suhu di bawah 4°C air memuai jika didinginkan dan menyusut jika dipanaskan”. Sifat inilah yang disebut sebagai *anomali air*. Di atas suhu 4°C sifat pemuaian air sama seperti benda lain, yaitu memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan.

Contoh Soal dan Jawabannya

Setetes raksa pada suhu 0°C memiliki volume 0,6 cm³, berapakah pemuaian volumenya pada saat dipanaskan sampai 100°C? Diketahui koefisien muai volume raksa adalah 1,8.10⁻⁴ °C⁻¹.

Diketahui : $t_0 = 0^\circ\text{C}$ $t = 100^\circ\text{C}$
 $V_0 = 0,6 \text{ cm}^3$ $\gamma = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Ditanyakan : $\Delta V = \dots ?$

Jawaban : $\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta t}$

$$1,8 \cdot 10^{-4} = \frac{\Delta V}{0,6 \cdot 100} \longrightarrow \Delta V = 10,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$$

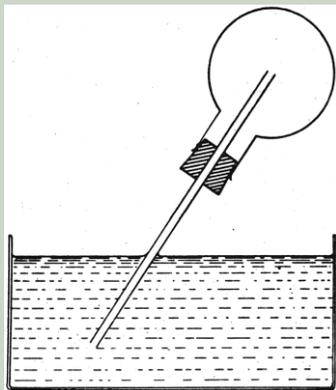
3. Pemuaian benda gas

Sama seperti benda cair, benda gas juga memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan. Tetapi karena partikel-partikel gas sangat mudah bergerak maka pemuaian gas ada dua jenis, yaitu pemuaian volume gas pada tekanan tetap dan pemuaian tekanan gas pada volume tetap. Bagaimana cara menunjukkan pemuaian gas atau udara? Untuk mengetahui hal itu lakukan percobaan 11-5 secara berkelompok.

Tugas percobaan 11-5

Prosedur percobaan :

1. Persiapkan sebuah bejana dari plastik, sebuah labu kaca bekas lampu pijar yang telah ditutup rapat dengan sumbat karet berisi pipa kaca.



2. Masukkan pipa kaca ke dalam bejana yang telah diisi air seperti gambar
3. Panaskan udara dalam labu kaca dengan menggunakan genggaman kedua telapak tangan. Perhatikan apa yang terjadi?
4. Dinginkan udara dalam labu kaca, dengan menggunakan kertas tisu yang telah dibasahi air dingin. Perhatikan apakah yang terjadi?

Pertanyaan :

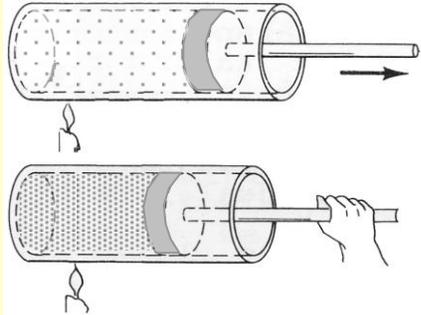
Kesimpulan apakah yang diperoleh dari hasil percobaan tersebut? Jelaskan!

Pemuaian udara atau gas pada percobaan 11-5 merupakan contoh pemuaian gas secara bebas, artinya dalam peristiwa pemuaian tersebut suhu, volume dan tekanan gas secara bersamaan mengalami perubahan. Hal tersebut agak rumit dan akan kita pelajari kemudian.

Untuk dapat memahami perbedaan antara pemuaian volume gas pada tekanan tetap dan pemuaian tekanan gas pada volume tetap, coba kalian selesaikan tugas diskusi kelompok berikut ini.

Tugas diskusi 11-1

Misalkan kita memiliki sebuah labu kaca leher panjang (tahan panas), diberi pengisap sehingga udara di dalam labu tidak bisa keluar dan udara luar tidak bisa masuk, tetapi pengisap tersebut dapat bebas bergerak maju mundur seperti gambar.



1. Apakah yang akan terjadi, jika labu dipanaskan atau didinginkan?
2. Jika pengisap kita pegang agar tetap diam, apakah yang dirasakan pada saat labu dipanaskan atau didinginkan?
3. Kesimpulan apakah yang diperoleh dari hasil diskusi tersebut? Jelaskan!

Sejumlah gas dalam ruang tertutup yang dipanaskan dengan tekanan tetap, akan mengalami pemuaian volume yang prinsipnya sama seperti pemuaian volume benda lainnya, yaitu :

$$V_t = V_o(1+ \gamma.\Delta t)$$

Demikian juga jika gas dalam ruang tertutup itu dipanaskan dengan volume tetap, maka gas akan mengalami pemuaian tekanan dengan persamaan

$$P_t = P_o(1+ \gamma.\Delta t)$$

Karena semua jenis gas memiliki koefisien muai volume dan koefisien muai tekanan yang sama, yaitu :

$$\gamma = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Maka kedua persamaan pemuaian gas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_t = V_o(1+ \frac{\Delta t}{273}) \text{ dan } P_t = P_o(1+ \frac{\Delta t}{273}) \text{ (11-8)}$$

Contoh Soal dan Jawabannya

1. Udara yang volumenya 1 m³ pada suhu 91°C memiliki bertekanan 1 atmosfer, kemudian didinginkan pada tekanan tetap sampai suhu 0°C, berapakah volume udara tersebut?

Diketahui : $t = 91^{\circ}\text{C}$ $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$
 $V_t = 1 \text{ m}^3$ $\gamma = (1/273)^{\circ}\text{C}^{-1}$

Ditanyakan : $V_0 = \dots ?$

Jawaban : $V_t = V_0 \left(1 + \frac{\Delta t}{273} \right)$

$$1 = V_0 \left(1 + \frac{91}{273} \right) \longrightarrow 1 = V_0 \left[\frac{273 + 91}{273} \right]$$

$$V_0 = \frac{273}{364} = 0,75 \text{ m}^3$$

2. Dalam sebuah tabung silinder besi, tersimpan gas oksigen (O_2) dengan suhu 0°C bertekanan 13 atmosfer. Berapakah tekanan gas itu, jika kepanasan sampai suhu 42°C pada volume tetap?

Diketahui : $t = 42^{\circ}\text{C}$ $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$
 $P_0 = 13 \text{ atm}$ $\gamma = (1/273)^{\circ}\text{C}^{-1}$

Ditanyakan : $P_t = \dots ?$

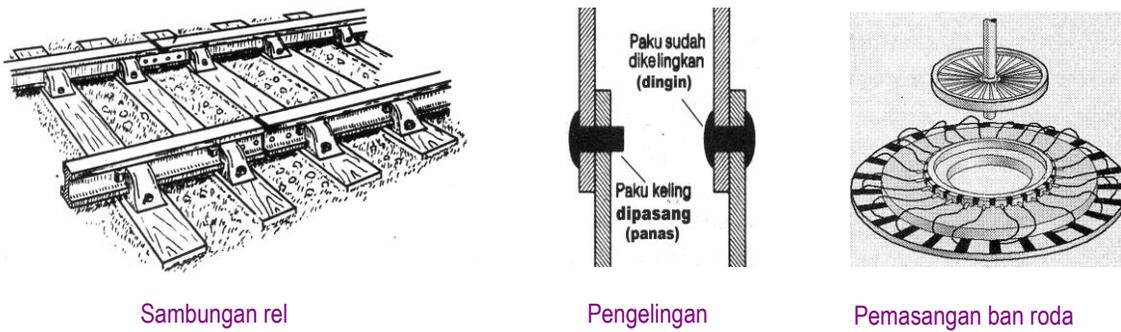
Jawaban : $P_t = P_0 \left(1 + \frac{\Delta t}{273} \right)$

$$P_t = 13 \left(1 + \frac{42}{273} \right) \longrightarrow P_t = 13 \left[\frac{273 + 42}{273} \right] = \frac{4095}{273} = 15 \text{ atm}$$

11.3. MASALAH PEMUAIAN DAN PEMANFAATANNYA

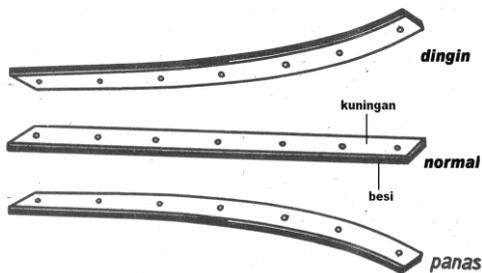
Mungkin kalian pernah mengalami pada saat menuangkan air mendidih ke dalam gelas, tiba-tiba gelas pecah. Hal itu disebabkan karena koefisien muai gelas relatif kecil sehingga cepat memuai, sedangkan pemuaian yang terjadi tidak merata. Alat gelas yang dipakai di laboratorium, pada umumnya terbuat dari bahan yang memiliki koefisien muai yang relatif besar sehingga tahan panas.

Demikian juga dengan kaca-kaca jendela, jika pemasangannya terlalu rapat maka dapat pecah pada saat memuai di musim panas. Mobil yang kehabisan air radiator dan oli akan mogok bahkan rusak, karena panas yang tinggi akan menimbulkan pemuaian yang berlebihan sehingga mesin menjadi macet atau pecah. Celah sambungan rel kereta api yang terlalu sempit dapat menyebabkan rel melengkung atau bengkok pada saat kepanasan, sebab pada saat memuai kedua rel akan beradu yang dapat menyebabkan rel melengkung atau bengkok.



Gambar 11-4. Contoh masalah dan manfaat

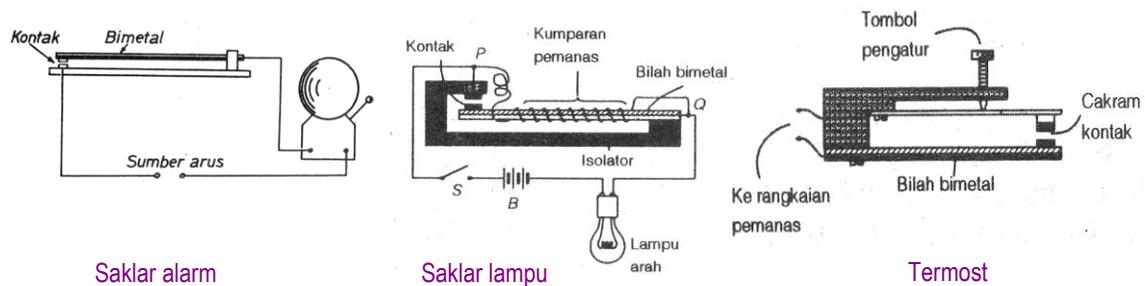
Termometer adalah salah satu contoh pemanfaatan pemuaian zat cair untuk mengukur suhu benda. Pemanfaatan pemuaian yang lain adalah dalam pengelangan dua plat logam agar menjadi sangat kuat dan rapat, sebab pasaknya dipasang pada saat panas, setelah selesai lalu didinginkan. Demikian juga pada pemasangan ban besi pada roda pedati atau roda kereta api. Ban besi dipanaskan dulu agar bisa masuk, kemudian baru didinginkan sehingga akan menjepit dengan kuat.



Gambar 11-5. Keping

Keping *bimetal* adalah dua plat logam tipis yang berbeda jenis dikeling menjadi satu. Karena masing-masing logam memiliki koefisien muai yang berbeda, maka pada saat dipanaskan atau didinginkan bimetal akan melengkung. Sifat bimetal yang demikian banyak dimanfaatkan dalam pembuatan *saklar otomatis*.

Contohnya adalah saklar otomatis untuk membunyikan alarm kebakaran, saklar otomatis untuk lampu kedip (sein) pada kendaraan bermotor, atau sebagai *termostat* yang dapat mengatur suhu pada alat penetas telur, setrika listrik, oven, atau almari pendingin (kulkas).



Gambar 11-6. Beberapa contoh saklar

Prinsip kerja dari saklar otomatis tersebut adalah melengkungnya bimetal akibat terjadinya perubahan suhu, akibatnya kontaknya akan bersentuhan atau lepas sehingga rangkaian listrik pada peralatan tersebut akan mengalirkan arus listrik atau memutuskan arus listrik. Besar kecilnya kelengkungan bimetal dapat diatur sesuai dengan suhu yang diinginkan.

TUGAS MERANGKUM

Untuk menata kembali seluruh pengetahuan yang telah kalian peroleh dari bab ini, sekarang cobalah membuat rangkuman dengan menjawab pertanyaan berikut :

1. Apa yang dimaksud dengan suhu?
2. Mengapa indra peraba bukan merupakan alat ukur suhu yang baik?
3. Apa keuntungan raksa sebagai bahan pengisi termometer zat cair?
4. Mengapa titik tetap yang dipergunakan Celcius dalam membuat skala termometer dikatakan lebih baik dari Fahrenheit?
5. Bagaimana hubungan suhu antara termometer Celcius dan termometer Fahrenheit?
6. Berapa suhu badan orang sehat?
7. Mengapa skala suhu termometer badan hanya dari 35°C sampai 42°C ?
8. Apa yang dimaksudkan dengan pemuaian suatu benda?
9. Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi besar pemuaian panjang dan pemuaian volume suatu benda?
10. Apa yang dimaksudkan dengan koefisien muai panjang dan koefisien muai volume suatu benda? Tuliskan bentuk persamaannya?
11. Apa yang dimaksud dengan anomali air?
12. Apa perbedaan antara pemuaian volume gas pada tekanan tetap dan pemuaian tekanan gas pada volume tetap?
13. Berapa besar koefisien muai volume gas pada tekanan tetap dan koefisien muai tekanan gas pada volume tetap?
14. Apa contoh masalah yang dapat ditimbulkan oleh pemuaian dan apa contoh pemanfaatan pemuaian dalam teknologi?

SOAL-SOAL UNTUK LATIHAN

A. Bentuk Soal Pilihan Ganda

Pilih salah satu alternatif jawaban yang paling benar, dengan jalan memberikan tanda silang (X) pada lembar jawaban yang telah disediakan.

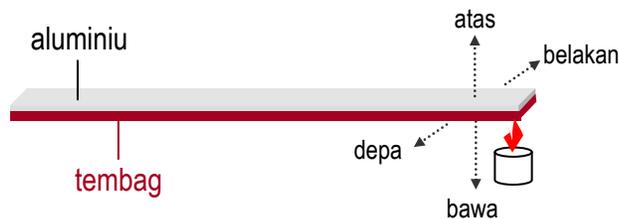
1. Suhu benda 60°C kalau diukur dengan termometer fahrenheit akan menunjukkan suhu sebesar :
 A. 92°F B. 108°F C. 140°F D. 333°F

Berikan alasan mengapa kalian menjawab demikian :

2. Faktor yang mempengaruhi muai panjang suatu benda adalah benda
 A. panjang B. jenis C. massa D. perubahan suhu

Berikan alasan mengapa kalian menjawab demikian :

3. Jika keping bimetal berikut dipanaskan seperti gambar, maka arah melengkungnya akan menuju ke :



- A. Atas
- B. Bawah
- C. Depan
- D. belakang

Berikan alasan mengapa kalian menjawab demikian :

4. Benda yang dipanaskan akan mengalami perubahan :
 1. suhu 2. volume 3. massa 4. massa jenis

Jawaban yang benar adalah :

- A. 1 dan 2 B. 1, 2 dan 3 C. 1, 2 dan 4 D. 1, 2, 3 dan 4

Berikan alasan mengapa kalian menjawab demikian :

5. Sejumlah gas dalam tabung bertekanan 5 atm terus didinginkan pada volume tetap. Jika memungkinkan mencapai suhu 0°K , maka tekanan gas akan menjadi :
 A. nol B. 4 atm C. tetap 5 atm D. 6 atm

Berikan alasan mengapa kalian menjawab demikian :

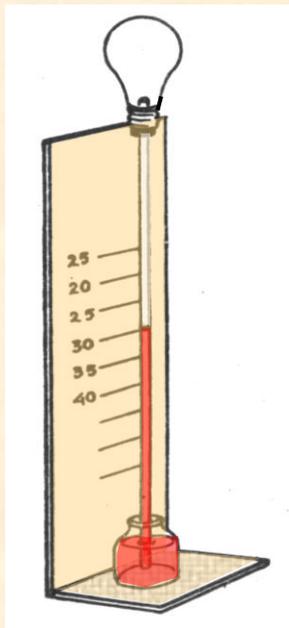
B. Bentuk Soal Uraian

1. Kalau termometer Celcius dan Fahrenheit dipakai secara bersama untuk mengukur suhu suatu benda, maka pada suhu berapakah ke dua termometer itu akan menunjukkan angka suhu yang sama?
2. Pada saat termometer Celcius dan Fahrenheit dipakai bersama, jumlah suhu yang ditunjukkan oleh ke dua termometer tersebut adalah 130 derajat. Berapakah suhu yang ditunjukkan oleh masing-masing termometer tersebut?
3. Misalkan kita memiliki sebuah balon berisi udara dengan suhu 0°C . Sampai suhu berapakah balon itu dipanaskan pada tekanan tetap, agar volumenya menjadi dua kali semula?
4. Sebuah penggaris besi pada suhu 0°C panjangnya tepat 1 m. Berapakah panjang penggaris itu jika kepanasan sampai suhu 40°C ? Koefisien muai panjang besi $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.
5. Sebuah ban mobil pada suhu udara 35°C tekanan udaranya 10 atm, berapakah tekanan udara dalam ban mobil jika didinginkan pada volume tetap sampai suhu 0°C ?

TUGAS PROYEK 11-1

Membuat Termometer Gas

1. Persiapkan labu kaca bekas lampu pijar, sumbat karet berlubang satu, pipa kaca, botol bekas, triplek secukupnya dan sebuah termometer Celcius.



2. Buat termometer gas seperti gambar, dengan menggunakan air berwarna sebagai petunjuk. Usahakan pada suhu ruangan normal, tinggi air yang naik pada pipa kaca minimum sudah setengahnya (temukan bagaimana caranya).
3. Buat skala pada termometer gas tersebut dengan menggunakan patokan suhu seperti yang ditunjukkan oleh termometer Celcius.
4. Buat laporan tertulis secara lengkap, tentang cara membuat termometer gas tersebut.
5. Demonstrasikan termometer gas tersebut di depan kelas untuk mendapatkan masukan dari guru dan teman-teman.