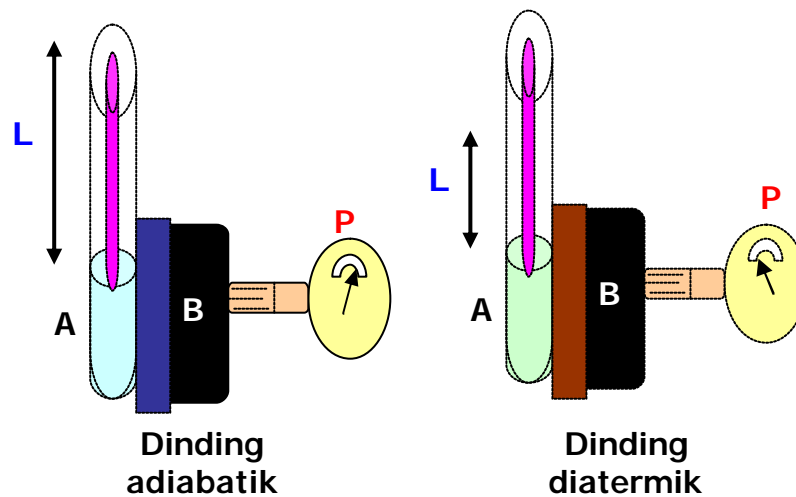


# SUHU dan KALOR



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

2004

Kode FIS.16

# Suhu dan Kalor

Penyusun:

*Dra. Suliyannah, Msi.*

**Editor:**

Dr. Budi Jatmiko, MPd.  
Drs. Munasir, MS.

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

**2004**

# Kata Pengantar

---

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

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

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

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

sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

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

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

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



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

# DAFTAR ISI

---

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

## I. PENDAHULUAN

a.	Deskripsi .....	1
b.	Prasarat .....	2
c.	Petunjuk Penggunaan Modul .....	2
d.	Tujuan Akhir .....	3
e.	Kompetensi .....	4
f.	Cek Kemampuan .....	5

## II. PEMELAJARAN

A.	Rencana Belajar Peserta Diklat .....	6
----	--------------------------------------	---

### B. Kegiatan Belajar

1.	<b>Kegiatan Belajar</b> .....	7
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran .....	7
b.	Uraian Materi .....	8
c.	Rangkuman .....	39
d.	Tugas .....	46
e.	Tes Formatif .....	46
f.	Kunci Jawaban .....	47
2.	<b>Kegiatan Belajar</b> .....	56
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran .....	56
b.	Uraian Materi .....	56
c.	Rangkuman .....	71
d.	Tugas .....	74
e.	Tes Formatif .....	74
f.	Kunci Jawaban .....	74

### **III. EVALUASI**

A. Tes Tertulis .....	79
B. Tes Praktik.....	80

### **KUNCI JAWABAN**

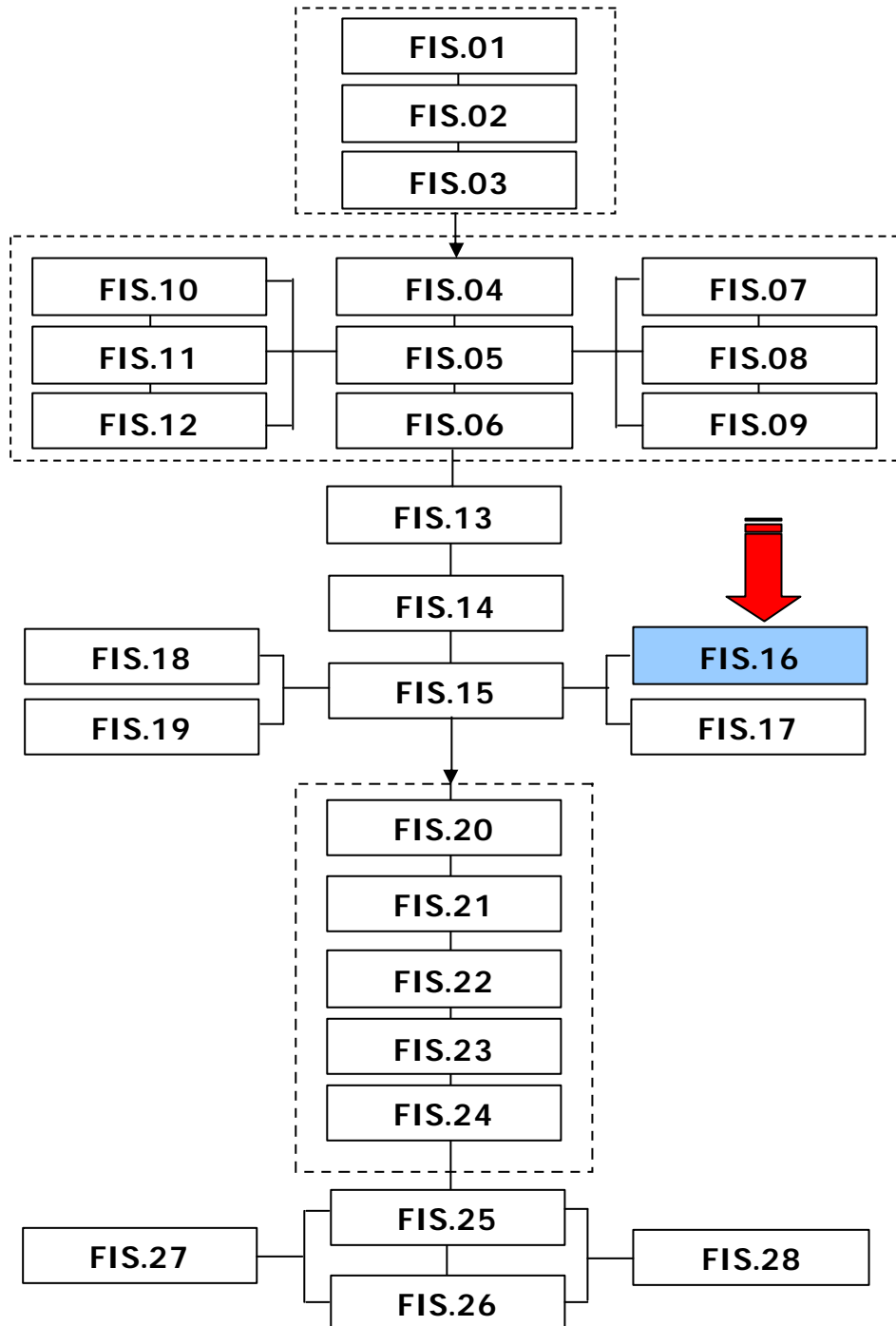
A. Tes Tertulis .....	81
B. Lembar Penilaian Tes Praktik.....	88

<b>IV. PENUTUP</b> .....	91
--------------------------	----

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	92
-----------------------------	----

# Peta Kedudukan Modul

---



# Daftar Judul Modul

---

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



# Glossary

ISTILAH	KETERANGAN
Fenomena efek termal	Peristiwa yang diakibatkan oleh adanya perubahan suhu.
Termometer	Alat yang digunakan untuk mengukur suhu suatu benda.
Pirometer optik	Alat untuk mengukur suhu yang tinggi.
Temperatur	Suhu suatu benda.
Pengukuran suhu secara kualitatif	Pengukuran suhu dengan menggunakan pancaindra.
Pengukuran suhu secara kuantitatif	Pengukuran suhu dengan menggunakan alat (termometer).
Konversi skala suhu	Kesetaraan suhu antara termometer satu dengan termometer yang lain.
Temperatur nol mutlak	Suhu suatu benda pada temperatur 273 Kelvin.
Dinding adiabatik	Suatu dinding yang tidak dapat menghantarkan kalor (isolator).
Dinding diatermik	Suatu dinding yang dapat menghantarkan kalor (konduktor).
Kesetimbangan termal	Suatu keadaan dimana suhu antara dua benda atau lebih dalam keadaan sama atau tidak terjadi pertukaran kalor.
Titik tetap atas	Skala atas termometer.
Steam point	Suhu campuran air dan uap dalam keadaan setimbang pada tekanan 1 atmosfer.
Titik tetap bawah	Skala bawah termometer.
Ice point	Suhu campuran es dan air dalam keadaan setimbang dengan udara jenuh pada tekanan 1 atmosfer.
Termo elemen	Elemen yang bekerja berdasarkan perubahan suhu.
Junction	Hubungan antara dua benda.
Zat termometrik	Zat-zat yang mempunyai sifat yang berubah bila suhunya berubah.
Sifat termometrik	Besaran-besaran fisis yang berubah bila suhunya berubah.
Titik tripel air	Suatu keadaan dimana fase padatan, cairan dan uap berada dalam keadaan kesetimbangan.
Skala suhu mutlak	Skala pada termometer Kelvin.
Elektromotansi termal	Perubahan suhu yang diakibatkan oleh arus listrik atau loncatan muatan listrik pada suatu benda.

Reproduktibilitas	Usaha untuk memperbanyak suatu benda.
Muai raksa	Kemampuan air raksa untuk memuai akibat perubahan suhu.
Muai gelas	Kemampuan gelas untuk memuai akibat perubahan suhu.
Ekspansi linier	Perubahan ukuran panjang suatu benda akibat perubahan suhu.
Koefisien ekspansi linier	Perbandingan antara pertambahan panjang zat ( $\Delta L$ ) dengan panjang semula ( $L_0$ ), untuk setiap kenaikan suhu sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ).
Muai luas	Perubahan luas akibat perubahan suhu benda suatu benda.
Muai volume	Perubahan volume akibat perubahan suhu pada suatu benda.
Anomali air	Penyimpangan sifat air dari sifat umumnya.
Ekspansi temperatur	Perubahan suhu suatu benda.
Muai gas	Kemampuan gas untuk memuai akibat perubahan suhu.
Gas ideal	Gas yang memenuhi persamaan $P V = n R T$ untuk semua tekanan dan suhu bernilai konstan.
Gas riil	Gas yang memenuhi persamaan $P V = n R T$ dan dipengaruhi oleh perubahan suhu.
Kalor	Salah satu bentuk energi.
Kalorimeter	Alat untuk mengukur kalor.
Energi	Kemampuan untuk melakukan usaha.
Kalor jenis	Banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan ( $Q$ ) untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu ( $m$ ) sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ).
Kapasitas kalor	Banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan ( $Q$ ) untuk mengubah suhu benda sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ).
Melebur	Perubahan wujud zat dari padat ke cair.
Mengembun	Perubahan wujud zat dari gas ke cair.
Menguap	Perubahan wujud zat dari cair ke gas.
Membeku	Perubahan wujud zat dari cair ke padat.
Deposisi	Perubahan wujud zat dari gas ke padat.
Menyublim	Perubahan wujud zat dari padat ke gas.
Perubahan fase	Perubahan wujud zat akibat adanya perubahan suhu pada suatu benda.
Titik tetap standard	Titik atas pada termometer ( $100^{\circ}\text{C}$ ) dan titik bawah pada termometer ( $0^{\circ}\text{C}$ ).
Kalor laten	Banyaknya kalor yang dibutuhkan atau dilepaskan pada saat perubahan fase atau wujud suatu zat.

Kalor lebur	Banyaknya kalor yang diserap dari wujud cair menjadi uap pada titik leburnya.
Kalor beku	Banyaknya kalor yang dilepaskan dari wujud cair menjadi padat pada titik bekunya.
Kalor didih	Banyaknya kalor yang diserap dari wujud cair menjadi uap pada titik didihnya.
Kalor embun	Banyaknya kalor yang dilepaskan dari wujud uap menjadi cair pada titik embunnya.
Konduksi	Perpindahan kalor yang tidak diikuti oleh perpindahan partikel-partikel zat tersebut.
Konveksi	Perpindahan kalor yang diikuti oleh perpindahan partikel-partikel zat tersebut.
Radiasi	Perpindahan kalor tanpa memerlukan medium.
Konduktivitas	Kemampuan suatu benda dalam menghantarkan kalor.

# BAB I. PENDAHULUAN

---

## A. Deskripsi

Ruang lingkup modul ini meliputi materi suhu dan kalor. Materi suhu terdiri dari pengertian suhu, kesetimbangan termal suatu sistem, perbedaan dinding diatermik dan dinding adiabatik, hukum ke-nol termodinamika/hukum kesetimbangan termal, cara penentuan kuantitatif skala suhu, penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan dua titik tetap, penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan sel titik tripel, besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu, pengertian zat termometrik disertai contohnya, sifat termometrik, hubungan konversi skala suhu Celcius, Kelvin, Rankine, Reamur, dan Fahrenheit, prinsip kerja lima macam termometer, perubahan sifat benda bila mengalami perubahan suhu, konsep pemuaian/ekspansi temperatur, peristiwa anomali air, muai volume gas berkaitan dengan hukum Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle Gay Lussac.

Materi kalor terdiri atas pengertian kalor, alat yang digunakan untuk mengukur kalor, definisi satu kalori, satuan kalor yang lain dan konversinya, pengertian kalor jenis suatu zat, pengertian kapasitas kalor suatu zat, azas Black, perubahan wujud zat (melebur, membeku, menguap, mengembun, deposisi, melenyap/menyublim), diagram perubahan, panas peleburan atau kalor lebur, panas penguapan atau kalor uap, panas pengembunan, panas pembekuan, titik lebur dan titik beku, titik didih dan titik pengembunan, perpindahan kalor secara konduksi (hantaran), konveksi (aliran), radiasi (pancaran).

Pada akhir bab pada modul ini, diberikan contoh soal dan latihan soal yang berkaitan dengan materi yang telah dipelajari dengan maksud untuk membantu para peserta diklat, peserta didik SMK dalam memahami materi Fisika bagian termofisika khususnya suhu dan kalor.

## **B. Prasyarat**

Untuk mempelajari modul ini dengan lancar, anda harus sudah memahami ketiga besaran pokok dalam mekanika dan dapat mengoperasikan persamaan matematis yang berkaitan dengan konsep-konsep dalam menyelesaikan persoalan materi suhu dan kalor yang diberikan.

Anda juga harus melakukan percobaan dengan benar untuk menemukan konsep yang berkaitan dengan materi suhu dan kalor dengan benar.

## **C. Petunjuk Penggunaan Modul**

1. Pelajari daftar isi serta kedudukan modul dengan cermat dan teliti, karena dalam skema modul akan nampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari ini dengan modul-modul yang lainnya.
2. Perhatikan langkah-langkah dalam melakukan pemahaman konsep dengan benar serta proses penemuan hubungan antar konsep yang dapat menambah wawasan anda sehingga mendapatkan hasil yang optimal.
3. Pahami setiap konsep dasar pendukung modul, misalnya matematika dan mekanika.
4. Jawablah tes formatif dengan jawaban yang singkat, tepat, dan kerjakan sesuai dengan kemampuan anda setelah mempelajari modul ini.
5. Bila dalam mengerjakan tugas/soal anda menemukan kesulitan, konsultasikan dengan konsultan/instruktur yang ditunjuk.
6. Setiap menemukan kesulitan, catatlah untuk dibahas saat kegiatan tatap muka.
7. Bacalah referensi lain yang berhubungan dengan materi dalam modul ini untuk menambah wawasan anda.

## D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat:

- ✍ Menjelaskan pengertian suhu dengan benar.
- ✍ Menjelaskan tentang kesetimbangan termal suatu sistem.
- ✍ Menjelaskan perbedaan dinding diatermik dan dinding adiabatik.
- ✍ Menjelaskan hukum ke-nol termodinamika/hukum kesetimbangan termal.
- ✍ Menjelaskan cara penentuan kuantitatif skala suhu.
- ✍ Menjelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan dua titik tetap.
- ✍ Menjelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan sel titik tripel.
- ✍ Menjelaskan minimal tujuh contoh besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu.
- ✍ Menjelaskan dengan benar pengertian zat termometrik disertai contohnya.
- ✍ Menjelaskan sifat termometrik dengan benar disertai contoh.
- ✍ Menjelaskan bagaimanakah hubungan konversi skala suhu Celcius, Kelvin, Rankine, Reamur, dan Fahrenheit.
- ✍ Menjelaskan prinsip kerja lima macam termometer disertai contoh dengan benar.
- ✍ Menjelaskan kemungkinan perubahan sifat benda bila mengalami perubahan suhu.
- ✍ Menjelaskan konsep pemuaian/ekspansi temperatur dengan benar.
- ✍ Menjelaskan peristiwa anomali air dengan benar.
- ✍ Menjelaskan muai volume gas berkaitan dengan hukum Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle Gay Lussac.

## E. Kompetensi

Kompetensi : MEMAHAMI PENGARUH SUHU DAN KALOR TERHADAP ZAT  
 Program Keahlian : Program Adaptif  
 Mata Diklat-Kode : FISIKA-FIS.14  
 Durasi Pembelajaran : 14 jam @ 45 menit

SUB KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KINERJA	LINGKUP BELAJAR	MATERI POKOK PEMBELAJARAN		
			SIKAP	PENGETAHUAN	KETERAMPILAN
1. Mengukur suhu	Suhu diukur dengan menggunakan termometer	Materi kompetensi ini membahas tentang: - Suhu - Pengukuran suhu dengan skala derajat C,R,F dan K	Teliti dalam mengukur suhu benda	- Pengertian suhu - Perhitungan pengukuran suhu	Menghitung suhu dengan skala derajat C,R,F dan K
2. Menghitung kalor	Kalor jenis dan kapasitas kalor ditetapkan sesuai konsep kalor	-Kalor jenis dan kapasitas kalor -Azas Black	Teliti dalam menghitung kalor jenis dan kapasitas kalor	- Pengertian kalor - Perhitungan kalor jenis dan kapasitas kalor	Menghitung kalor jenis dan kapasitas kalor
3. Menjelaskan pengaruh kalor terhadap zat	- Pemuai zat padat, zat cair dan gas ditentukan dengan cara pemuai zat. - Perubahan wujud dan perpindahan kalor dilakukan oleh perlakuan panas.	-Pemuai zat -Perubahan wujud -Perpindahan kalor konduksi, konveksi dan radiasi.	Teliti dalam menjelaskan pemuai zat, perubahan wujud dan perpindahan kalor.	- Perhitungan pemuai zat padat, zat cair dan gas. - Pengertian melebur, mengembang dan membeku. - Perpindahan kalor cara konduksi, konveksi dan radiasi.	-Menghitung pemuai zat padat, cair dan gas. - Menghitung perpindahan kalor.

## F. Cek Kemampuan

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

1. Jelaskan pengertian suhu dengan benar!
2. Jelaskan tentang kesetimbangan termal suatu sistem!
3. Jelaskan perbedaan dinding diatermik dan dinding adiabatik!
4. Jelaskan hukum ke-nol Termodinamika/hukum kesetimbangan termal!
5. Jelaskan cara penentuan kuantitatif skala suhu!
6. Jelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan dua titik tetap!
7. Jelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan sel titik tripel!
8. Jelaskan minimal tujuh contoh besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu!
9. Jelaskan dengan benar pengertian zat termometrik disertai contohnya!
10. Jelaskan sifat termometrik dengan benar disertai contoh!
11. Jelaskan bagaimanakah hubungan konversi skala suhu Celcius, Kelvin, Rankine, Reamur, dan Fahrenheit!
12. Jelaskan prinsip kerja lima macam termometer disertai contoh dengan benar!
13. Jelaskan kemungkinan perubahan sifat benda bila mengalami perubahan suhu!
14. Jelaskan konsep pemuaian/ekspansi temperatur dengan benar!
15. Jelaskan peristiwa anomali air dengan benar!
16. Jelaskan muai volume gas berkaitan dengan hukum Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle Gay Lussac!





## B. KEGIATAN BELAJAR

### 1. Kegiatan Belajar 1

#### a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan belajar ini, diharapkan siswa dapat:

- ✎ Menjelaskan pengertian suhu dengan benar.
- ✎ Menjelaskan kesetimbangan termal suatu sistem.
- ✎ Menjelaskan perbedaan dinding diatermik dan dinding adiabatik.
- ✎ Menjelaskan hukum ke-nol termodinamika/hukum kesetimbangan termal.
- ✎ Menjelaskan cara penentuan kuantitatif skala suhu.
- ✎ Menjelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan dua titik tetap.
- ✎ Menjelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan sel titik tripel.
- ✎ Menjelaskan minimal tujuh contoh besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu.
- ✎ Menjelaskan dengan benar pengertian zat termometrik disertai contohnya.
- ✎ Menjelaskan sifat termometrik dengan benar disertai contoh.
- ✎ Menjelaskan hubungan konversi skala suhu Celcius, Kelvin, Rankine, Reamur, dan Fahrenheit.
- ✎ Menjelaskan prinsip kerja lima macam termometer disertai contoh dengan benar.
- ✎ Menjelaskan kemungkinan perubahan sifat benda bila mengalami perubahan suhu.
- ✎ Menjelaskan konsep pemuaian/ekspansi temperatur dengan benar.
- ✎ Menjelaskan peristiwa anomali air dengan benar.
- ✎ Menjelaskan muai volume gas berkaitan dengan hukum Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle Gay Lussac.

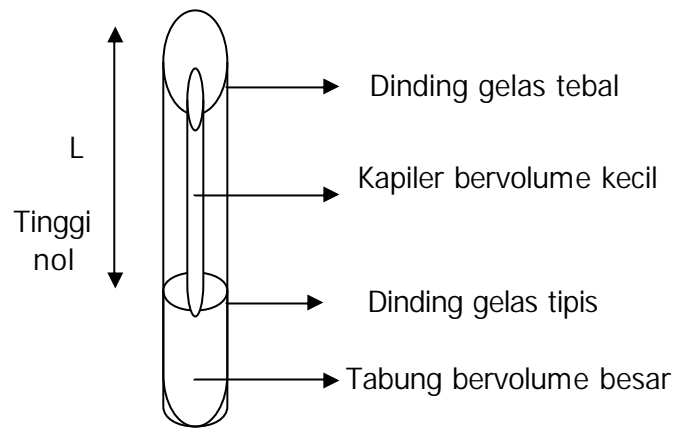
## **b. Uraian Materi**

### **1) Konsep Suhu dan Keseimbangan Termal**

Pada pembahasan untuk menjelaskan keadaan setimbang suatu sistem mekanis telah dibicarakan fenomena mekanika yang berpijak pada tiga besaran dasar yang tak terdefiniskan yaitu besaran panjang, massa, dan waktu. Pada pembahasan berikut akan ditelaah beberapa fenomena yang disebut efek termal atau fenomena panas. Fenomena ini menyangkut aspek-aspek yang pada dasarnya bukan bersifat mekanis. Untuk menjelaskan hal ini diperlukan suatu besaran tak terdefiniskan yang keempat yaitu suhu. Kita dapat merasakan panas atau dinginnya sesuatu dengan indera peraba.

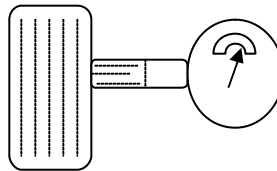
Jika kita dekat dengan api maka kita merasa panas, sedangkan bila kita menyentuh es maka kita merasa dingin. Tetapi indera peraba kita tidak dapat menyatakan secara tepat derajat panas dinginnya suatu benda. Saat kita menyentuh sebuah benda, sifat yang disebut suhu atau temperatur diterangkan berdasarkan indera suhu kita. Suhu tersebut akan menunjukkan apakah benda itu akan terasa panas atau dingin.

Semakin panas berarti suhu semakin tinggi. Memperkirakan suhu tersebut berarti kita menyatakan hanya secara kualitatif. Oleh karena itu, untuk menyatakan suhu dengan tepat secara kuantitatif (dengan angka-angka) diperlukan beberapa kegiatan yang bukan bergantung pada cita rasa kita mengenai panas atau dingin tetapi pada besaran-besaran yang dapat diukur. Berikut akan dijelaskan cara menentukan suhu dengan tepat secara kuantitatif. Ada beberapa sistem sederhana tertentu yang keadaannya masing-masing dapat diperinci dengan cara mengukur harga satu besaran fisis saja. Sebagai contoh, akan ditinjau suatu sistem berupa cairan, misalnya alkohol atau raksa yang berada di dalam tabung berdinding tipis, seperti gambar di bawah ini.



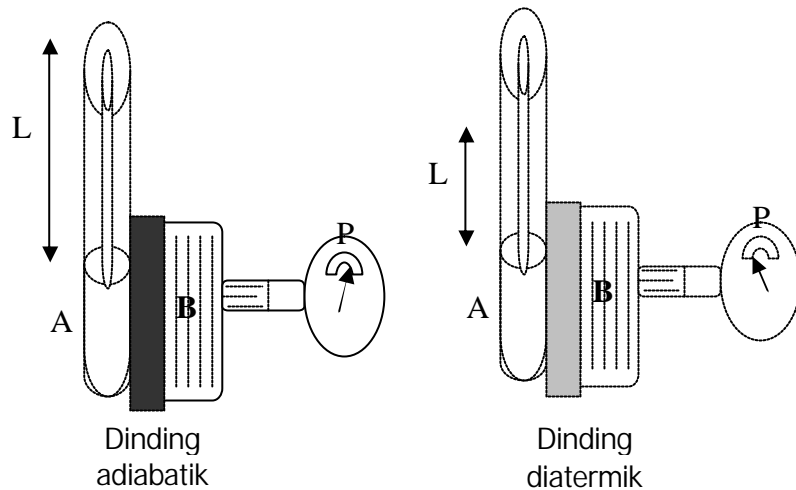
Keadaan sistem pada gambar 1.1a. dapat diperinci berdasarkan panjang kolom cairan yang dinyatakan dengan notasi  $L$ . Panjang kolom cairan ini dihitung mulai dari sebuah titik yang dipilih sesuai keperluan dan selanjutnya kolom cairan  $L$  ini disebut koordinat keadaan. Perhatikan sistem sederhana lain seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.

#### Gas pada volume konstan



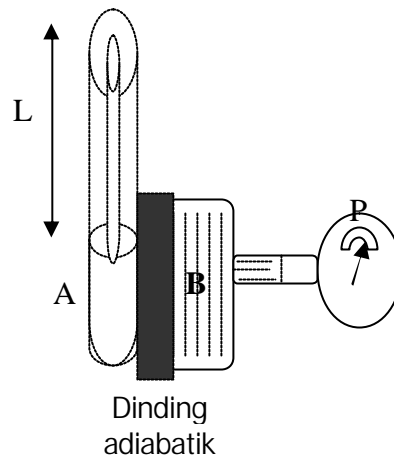
Mengilustrasikan bejana berdinding tipis berisi gas yang volumenya konstan, dengan koordinat keadaan tekanan yang besarnya dapat dibaca pada alat ukur tekanan.

Dalam bagian berikut sebagai alat ukur tekanan dipakai kumparan kawat halus dengan tegangan konstan yang koordinat keadaannya adalah harga hambatan listrik, dan juga akan dipakai hubungan (*junction*) dua jenis logam yang memiliki koordinat keadaan berupa gaya gerak listrik di antara kedua ujung-ujungnya.

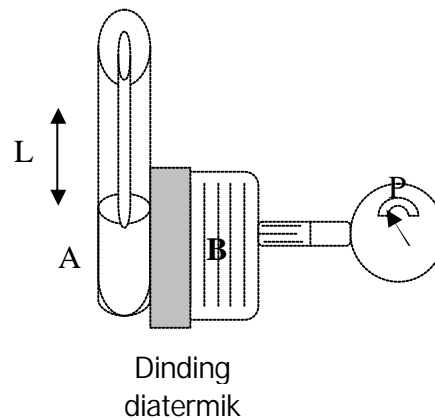


Pada gambar di atas diandaikan A adalah sistem cairan dalam kapiler dengan koordinat keadaan panjang kolom cairan  $L$ , dan B adalah sistem gas pada volume konstan dengan koordinat keadaan  $P$ . Jika sistem A dan B dihubungkan, pada umumnya kedua koordinat keadaan berubah. Jika sistem A dan B dipisahkan, perubahan itu berlangsung lebih lambat dan kalau di antara kedua sistem A dan B terdapat pemisah yang terbuat dari kayu, asbes, gips dan lain sebagainya maka harga-harga koordinat keadaan  $L$  dan  $P$  hampir tidak saling ketergantungan.

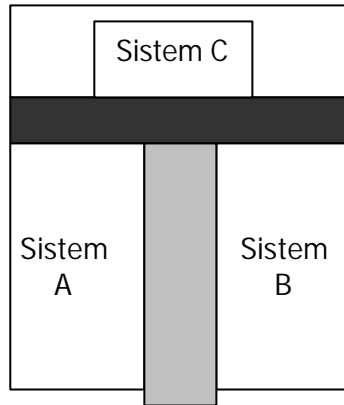
Misalkan, ada pemisah sempurna yang disebut dinding adiabatik bila digunakan untuk memisahkan dua sistem maka memungkinkan koordinat-koordinat keadaan tidak saling ketergantungan dapat mempunyai harga yang bervariasi dalam daerah yang sangat besar intervalnya. Hakekatnya dinding adiabatik sempurna adalah suatu idealisasi yang tidak mungkin direalisasi dengan sempurna tetapi yang mungkin direalisasi adalah dinding yang bersifat hampir adiabatik, seperti pada gambar di bawah ini.



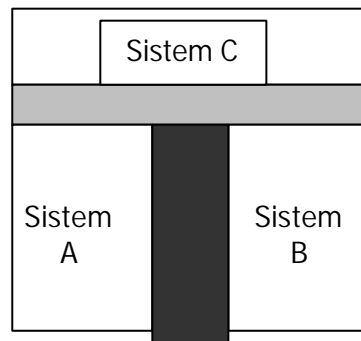
Diilustrasikan dengan garis hitam tebal. Jika sistem A dan B diletakkan bersentuhan atau terpisah dengan cara memberi pemisah yang terbuat dari logam tipis, koordinat keadaan masing-masing mungkin berubah atau mungkin tetap. Suatu dinding yang memungkinkan koordinat keadaan sistem mempengaruhi koordinat sistem yang lain, disebut dinding diatermik. Dinding diatermik yang paling praktis berupa lembaran tembaga tipis, seperti dalam gambar di bawah ini.



Dinding diatermik diilustrasikan sebagai garis hitam transparan. Cepat atau lambat suatu saat perubahan koordinat keadaan sistem A dan B akan berhenti. Keadaan dua sistem yang sudah terhenti perubahan koordinat keadaannya disebut kesetimbangan termal.



Diumpamakan dua sistem A dan B yang dipisahkan oleh dinding adiabatik dan masing-masing bersentuhan dengan sistem C melalui sebuah dinding diatermik. Seluruh sistem tersebut terkurung oleh dinding adiabatik. Dari hasil percobaan memperlihatkan bahwa kedua sistem A dan B akan mencapai kesetimbangan termal dengan sistem ketiga (C) dan tidak akan ada perubahan lagi, jika dinding adiabatik yang memisahkan sistem A dan B diganti dengan dinding diatermik. Seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Jika sistem A dan B dibiarkan mencapai kesetimbangan dengan C pada waktu yang bersamaan, tetapi mula-mula didapatkan kesetimbangan antara A dan C, kemudian kesetimbangan antara B dan C (keadaan sistem C sama dalam kedua hal tersebut), maka bila sistem A dan C dibiarkan berinteraksi melalui dinding diatermik, kedua sistem ternyata dalam kesetimbangan termal. Yang dimaksud dua sistem ada dalam kesetimbangan termal, yaitu kedua sistem dalam keadaan sedemikian rupa sehingga jika kedua sistem itu berhubungan melalui

dinding diatermik, sistem gabungan ini akan tetap dalam keadaan kesetimbangan termal. Hasil percobaan ini dapat dinyatakan secara ringkas sebagai berikut: dua sistem yang ada dalam kesetimbangan termal dengan sistem ketiga, berarti dalam kesetimbangan termal satu sama lain. Pernyataan di atas disebut hukum ke-nol termodinamika.

Suhu suatu sistem adalah sifat yang menentukan apakah sistem itu setimbang termal dengan sistem yang lain atau tidak. Apabila dua sistem atau lebih berada dalam kesetimbangan termal maka sistem-sistem itu dikatakan mempunyai suhu yang sama. Suhu semua sistem yang berada dalam keadaan setimbang termal dapat dinyatakan dengan angka. Untuk menyatakan suhu dengan angka (secara kuantitatif) diperlukan alat yang disebut termometer.

Beberapa ciri khas yang ada pada termometer adalah:

- ? Kepekaannya (perubahan koordinat keadaan akibat adanya sedikit saja perubahan suhu dapat terukur).
- ? Ketelitiannya dalam mengukur koordinat keadaan.
- ? Reprodusibilitasnya artinya dapat dan mudah diperbanyak.

Perlu diperhatikan satu lagi sifat yang sering dikehendaki dari termometer adalah kecepatannya dalam mencapai kesetimbangan termal dengan sistem yang lain, dan penentuan skala dalam termometer agar dapat dilakukan pengukuran suhu secara kuantitatif.

## **2) Penentuan Kuantitatif Skala Suhu dan Sifat Termometrik**

Untuk menentukan skala suhu secara kuantitatif diperlukan suatu titik tetap. Sebelum tahun 1954, digunakan dua titik tetap yaitu titik uap (*steam point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap atas dan titik es (*ice point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap bawah. Suhu pada titik uap, didefinisikan sebagai suhu air dan uap yang berada dalam keadaan setimbang pada tekanan 1 atmosfer. Suhu pada titik es adalah suhu campuran es dan air dalam keadaan setimbang dengan udara jenuh pada tekanan 1 atmosfer. Pada skala Celcius, titik es diberi angka 0 dan



titik uap diberi angka 100.

Dapat dinyatakan pula bahwa suhu adalah suatu besaran skalar yang dipunyai semua sistem termodinamika sedemikian rupa sehingga kesamaan suhu adalah syarat yang perlu dan cukup untuk kesetimbangan termal. Beberapa besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu antara lain:

- ? perubahan panjang kolom cairan (L),
- ? hambatan listrik pada kawat (R),
- ? tekanan gas pada volume konstan (P),
- ? volume gas pada tekanan konstan (V),
- ? gaya gerak listrik (e),
- ? intensitas cahaya (I).

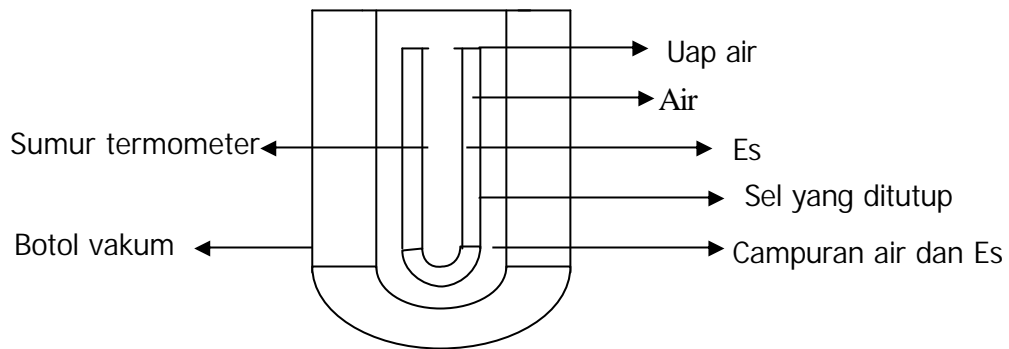
Zat-zat yang mempunyai sifat yang berubah bila suhunya berubah disebut zat termometrik (*thermometric substance*), dan besaran-besaran fisis yang berubah bila suhunya berubah disebut sifat termometrik (*thermometric property*). Sejak tahun 1954, hanya satu titik tetap baku (standart) yang telah dipakai, disebut titik tripel air (*tripel point of water*) yaitu keadaan air murni sebagai campuran dari es, air, dan uap yang berada bersama-sama dalam keadaan kesetimbangan. Tekanan pada titik tripel air adalah 4,58 mmHg dan suhu pada titik tripel air adalah 273,16 K.

Pada pembahasan berikut akan diuraikan mengenai penentuan kuantitatif skala suhu atau pengukuran suhu dengan menggunakan sel titik tripel air. Didefinisikan bahwa nisbah (ratio) dua suhu empirik  $T_2(X)$  dan  $T_1(X)$  adalah sama dengan nisbah (ratio) nilai sifat termometrik  $X_2$  dan  $X_1$  yang bersangkutan, sehingga diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$\frac{T_2(X)}{T_1(X)} = \frac{X_2}{X_1} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk memperoleh titik tripel air adalah sebagai berikut: air dengan kemurnian tinggi dengan komposisi isotropik yang sama dengan air laut

dimasukkan ke dalam bejana, yang bagannya terlihat dalam gambar di bawah ini.



Jika semua udara di dalam bejana sudah tidak ada karena telah didesak air, bejana ditutup rapat. Dengan memasukkan campuran pembeku ke dalam ruang antara kedua kaki tabung (bagian lekuk) maka terbentuk lapisan es di sekitar dinding bejana bagian dalam dan bagian atas terkumpul uap air. Jika campuran pembeku diganti dengan bola termometer maka lapisan tipis es di dekatnya melebur. Selama waktu fase padatan, cairan, dan uap ada dalam kesetimbangan, sistem dikatakan berada pada titik tripel.

Pengukuran suhu dan penentuan suhu dengan menggunakan titik tripel sebagai titik tetap baku dapat dijelaskan sebagai berikut: andaikan sifat termometrik yang perubahannya sebanding dengan perubahan suhu dinyatakan dengan  $X$  maka fungsi termometrik  $T(X)$  yang menentukan skala suhu dapat ditulis:

$$T(X) = a.X \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:  $a$  = konstanta yang bergantung pada zat termometrik.

Jika dinyatakan nilai-nilai pada titik tripel dengan indeks  $tr$  maka didapat rumus penentuan suhu untuk setiap termometer sebagai berikut:

$$\frac{T(X)}{T(X_{tr})} = \frac{X}{X_{tr}}$$

Atau:

$$T(X) = T(X_{tr}) \cdot \frac{X}{X_{tr}} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan:  $T(X_{tr})$  adalah suhu tripel atau :  $T(X_{tr}) = 273,16 \text{ K}$

Persamaan (3) dapat ditulis:  $T(X) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{X}{X_{tr}} \dots\dots\dots (4)$

Substitusi persamaan (4) ke persamaan (2) maka didapatkan:

$$a = \frac{273,16\text{K}}{X_{tr}} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan	:	$T(X)$	=	suhu yang hendak diukur
		$T(X_{tr})$	=	suhu pada titik tripel
		$X$	=	sifat termometrik pada suhu yang akan diukur
		$X_{tr}$	=	sifat termometrik pada suhu tripel
		$a$	=	konstanta yang bergantung pada zat termometrik

**a. Skala beberapa termometer**

Penetapan skala pada termometer diawali dengan pemilihan dua titik tetap, yaitu titik lebur es sebagai titik tetap bawah dan titik didih air sebagai titik tetap atas. Kedua titik tetap tersebut diberi angka, kemudian dibagi-bagi dalam beberapa skala yang disebut derajat. Berdasarkan prinsip inilah dibuat *skala Celcius (C)*, *skala Reamur (R)*, *skala Fahrenheit (F)*, *skala Kelvin (K)*, dan *Rankine(Rn)*.

☞ **Skala Celcius (C)**

Titik lebur es diberi angka 0, sedangkan titik didih air diberi angka 100. Daerah antara kedua titik tetap ini dibagi dalam skala 100.

☞ **Skala Reamur (R)**

Titik es diberi angka 0, sedangkan titik didih air diberi angka

80. Daerah antara kedua titik ini dibagi dalam 80 skala.

☞ **Termometer Fahrenheit (F)**

Titik es diberi angka 32, sedangkan titik didih air diberi angka 212. Daerah antara kedua titik tetap ini dibagi dalam 180 skala.

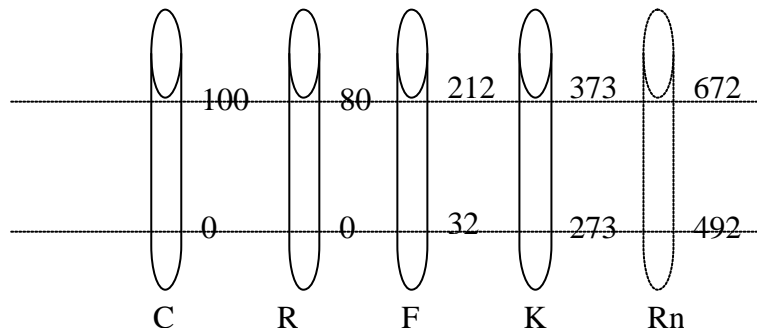
☞ **Termometer Kelvin (K)**

Titik es diberi angka 273, sedangkan titik didih air diberi angka 373. Daerah antara kedua titik dibagi dalam 100 skala.

☞ **Termometer Rankine (Rn)**

Titik es diberi angka 492, sedangkan titik didih air diberi angka 672.

Daerah antara kedua titik dibagi dalam 180 skala. Perbandingan pembagian skala C, R, F, K dan Rn



Dari ilustrasi gambar di atas, didapat konversi dan hubungan skala suhu Celcius, Reamur, Fahrenheit, Kelvin dan Rankine sebagai berikut:

$$\frac{C}{5} = \frac{R}{4} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} = \frac{Rn - 492}{9} \dots\dots\dots (6)$$

atau:

C: R: F: K: Rn = 100 skala: 80 skala: 180 skala: 100 skala: 180 skala

Atau:

$$C: R: F: K: Rn = 5: 4: 9 : 5: 9 \dots\dots\dots (7)$$

Jika diperhatikan pembagian skala-skala di atas dapat dinyatakan bahwa:

- ? satu skala Kelvin = satu skala Celcius (1 K = 1 °C)
- ? satu skala Fahrenheit = satu skala Rankine (1 °F = 1 Rn)

Jadi:

*Hubungan antara skala Celcius dengan Reamur adalah:*

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{4} t^{\circ}\text{R} \quad \text{atau} \quad t^{\circ}\text{R} = \frac{4}{5} t^{\circ}\text{C} \quad \dots\dots\dots (8)$$

*Hubungan antara skala Celcius dengan Fahrenheit adalah:*

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} t^{\circ}\text{C} + 32 \quad \text{atau} \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32) \quad \dots\dots\dots (9)$$

*Hubungan antara skala Reamur dengan Fahrenheit adalah:*

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{4} t^{\circ}\text{R} + 32 \quad \text{atau} \quad t^{\circ}\text{R} = \frac{4}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32) \quad \dots\dots\dots (10)$$

*Hubungan antara skala Celcius dengan Kelvin adalah:*

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

*Hubungan antara skala Rankine dengan Kelvin adalah:*

$$T(\text{Rn}) = \frac{9}{5} T(\text{K}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

## **b. Beberapa jenis termometer**

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya bahwa semua jenis termometer berdasarkan pada gejala suatu besaran fisis tertentu berubah apabila suhu berubah. Besaran fisis yang berubah karena perubahan suhu disebut sifat termometrik (*thermometric property*). Apabila suhu suatu zat berubah, maka ada beberapa sifat zat berubah, antara lain: warnanya (misalnya besi panas), volumenya, tekanannya, dan daya hantar listriknya (hambatannya). Sebagai contoh sifat termometrik pada jenis termometer cairan adalah perubahan kolom cairan (tinggi kenaikan cairan) dalam pipa

kapiler dari gelas, sedangkan contoh zat termometrik (*thermometric substance*) adalah jenis cairan dalam pipa kapiler misalnya alkohol, air raksa.

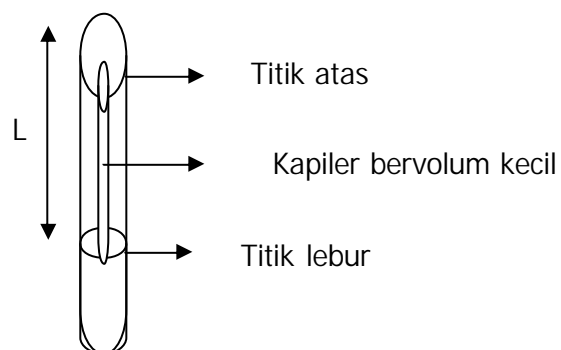
Dengan memanfaatkan sifat termometrik zat tersebut, orang dapat membuat beberapa jenis termometer antara lain: termometer cairan (termometer kaca), termometer gas, termometer hambatan listrik (pirometer), termokopel, dan sebagainya.

**Tabel 1:** Termometer dengan sifat termometriknya

Termometer	Sifat Termometrik	Lambang
Cairan	Panjang kolom cairan	L
Gas volume tetap	Tekanan gas	P
Gas tekanan tetap	Volume	V
Resistor listrik	Resistansi listrik	R
Termokopel	Elektromotansi termal (ggl)	e
Termistor	Arus	I
Pirometer	Intensitas cahaya	I

### **Termometer Zat Cair Dalam Gelas**

Termometer jenis ini umumnya dibuat dari kaca halus yang bagian dalamnya berongga dan hampa udara dengan tabung di bagian bawahnya yang diisi cairan. Perhatikan gambar di bawah ini.



Termometer zat cair dalam gelas disebut juga termometer cairan. Cairan yang paling banyak dipakai untuk mengisi tabung termometer adalah **air raksa**. Kebaikan air raksa dibanding zat

cair lainnya, antara lain:

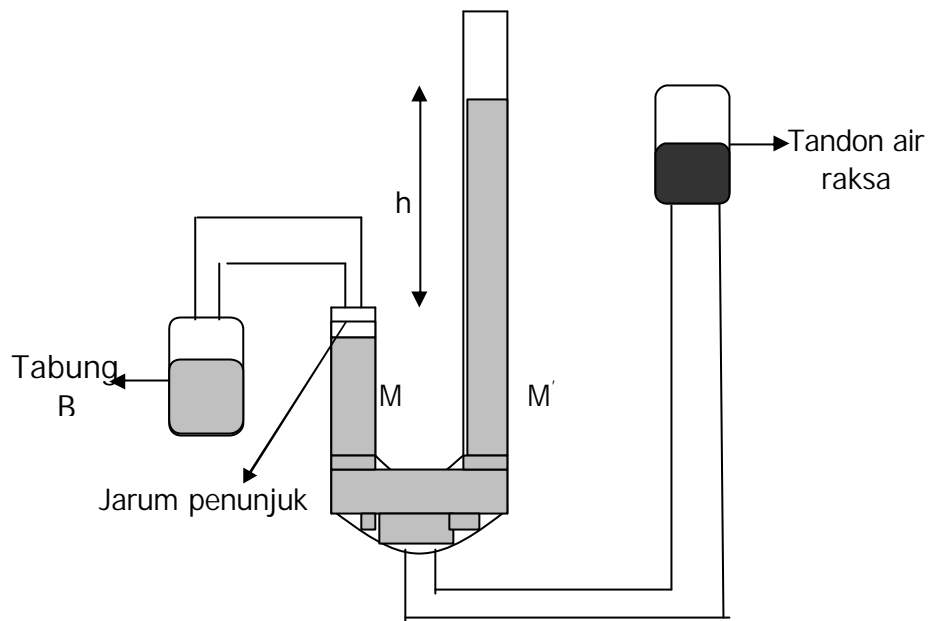
- ✍ Segera dapat mengambil panas dari benda yang hendak diukur suhunya, sehingga suhu raksa dapat segera sama dengan benda yang diukur.
- ✍ Dapat dipakai untuk mengukur suhu dari yang rendah sampai yang tinggi (daerah ukurnya besar), karena raksa mempunyai titik beku  $-39^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $137^{\circ}\text{C}$ .
- ✍ Tidak membasahi dinding tabung, sehingga pengukurannya menjadi lebih teliti.
- ✍ Mudah dilihat karena raksa mengkilap seperti perak.
- ✍ Air raksa memiliki pemuaian yang teratur.

Selain air raksa, dapat juga digunakan cairan **alkohol** untuk mengisi tabung termometer. Keunggulan alkohol dibanding raksa adalah:

- ✍ Alkohol membeku pada suhu yang rendah (titik bekunya  $-114^{\circ}\text{C}$ ), tetapi titik didihnya rendah (titik didihnya  $78^{\circ}\text{C}$ ).
- ✍ Termometer dengan cairan alkohol sangat baik untuk mengukur suhu-suhu yang rendah.

#### ✍ **Termometer Gas Volume Tetap**

Bila gas dipanaskan dalam ruang tertutup (volume dibuat tetap), maka tekanannya akan bertambah. Perubahan tekanan ini dimanfaatkan untuk mengukur suhu pada termometer gas volume tetap. Bagan skematik termometer gas volume tetap diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Bahan, konstruksi, dan ukuran termometer ini berbeda-beda di berbagai biro dan lembaga yang tersebar di seluruh dunia tempat alat ini digunakan dan bergantung pada sifat gas serta kisaran daerah suhu yang akan diukur. Gas yang biasa digunakan adalah gas hidrogen atau helium.

Gas dimasukkan dalam tabung B (biasanya terbuat dari platina atau lakur platina) yang dihubungkan oleh pipa kapiler dengan kolom air raksa M. Volume gas dipertahankan tetap dengan mengatur tinggi kolom air raksa M sampai permukaan air raksa menyentuh ujung jarum penunjuk dalam ruang di atas M yang dikenal sebagai ruang buntu. Kolom air raksa M diatur dengan menaikkan atau menurunkan tandon. Perbedaan tinggi h antara kedua kolom air raksa M dan M' diukur ketika tabung B dikelilingi oleh sistem yang suhunya akan diukur dan ketika dikelilingi oleh air pada titik tripelnya.

Pengukuran suhu pada termometer gas volume tetap dirumuskan:

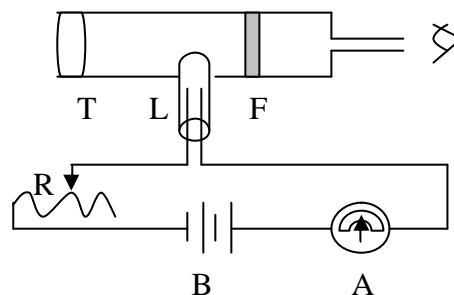
$$T(P) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{P}{P_{tr}} \dots\dots\dots (13)$$



## **Pirometer**

Pada umumnya hambatan suatu listrik akan berubah jika suhunya berubah. Bila suhu naik, hambatan listrik akan menjadi besar, demikian pula sebaliknya. Termometer yang menggunakan sifat hambatan listrik ini disebut termometer hambatan (pirometer).

Pirometer ini khusus untuk mengukur suhu yang sangat tinggi, misalnya suhu cairan logam di pabrik pengelolaan logam. Di dunia industri, selain pirometer hambatan, dikenal juga yang disebut pirometer optik (optical pyrometer). Pirometer optik terdiri atas sebuah teleskop T. Di dalam tabung teleskop ini ada filter F dari gelas merah dan sebuah lampu listrik L berukuran kecil, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Jika pirometer diarahkan ke api suatu tungku, pengamat dapat melihat melalui teleskop, filamen lampu yang gelap dengan latar belakang api tungku yang terang.

Filamen lampu ini dihubungkan dengan baterai B dan reostat R. Dengan cara memutar tombol reostat, arus di dalam filamen lampu L dapat diatur sedemikian rupa sehingga terang cahaya lampu L dapat ditambah berangsur-angsur sampai terang filamen sama dengan terang latar belakangnya, yaitu api tungku yang terang, berfungsi sebagai obyek yang akan diukur suhunya.

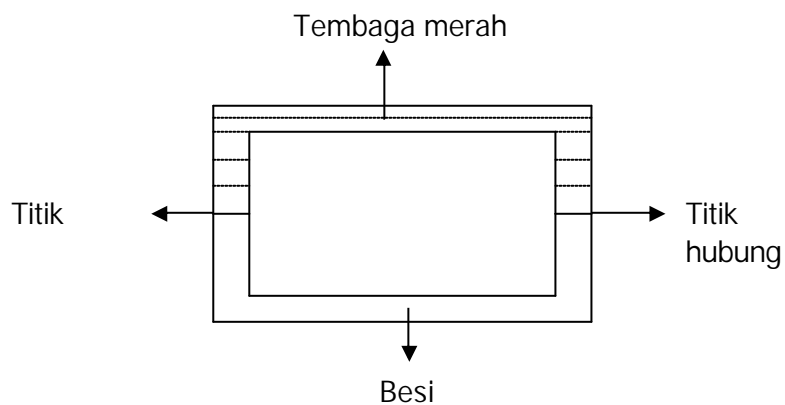
Dari pembacaan arus di A, setelah dikalibrasi dan ditera dalam skala suhu maka suhu obyek dapat diukur. Pada pirometer optik tidak ada bagian yang harus bersentuhan dengan benda panas yang akan diukur suhunya maka pirometer optik dapat digunakan untuk mengukur suhu yang sangat tinggi, yaitu suhu di atas titik lebur resistor yang dipakai pada termometer hambatan.

Pengukuran suhu pada pirometer optik dirumuskan sebagai berikut:

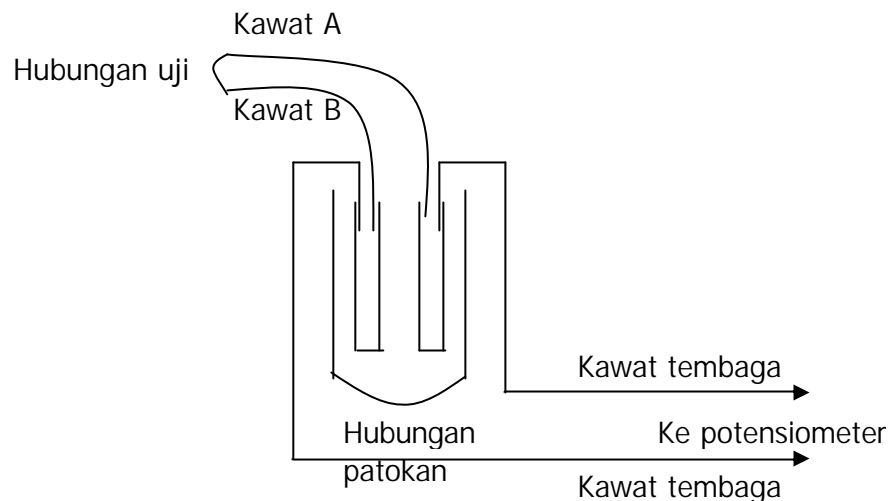
$$T(I) = 273,16 \text{ K. } \frac{I}{I_{tr}} \dots\dots\dots (14)$$

**Termokopel**

Bila dua logam yang berbeda jenisnya (terutama berbeda pemuaiannya) disentuhkan, maka saat suhu berubah timbul gaya gerak listrik (ggl). Besarnya ggl yang timbul bergantung pada selisih suhu kedua titik sambung dan jenis pasangan logam. Perhatikan gambar di bawah ini.



Besarnya ggl yang terjadi dimanfaatkan untuk pengukuran suhu pada termokopel, yang susunannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Elektromotansi termal diukur dengan potensiometer yang harus diletakkan jauh dari sistem yang suhunya akan diukur. Sambungan patokan diletakkan dekat dengan sambungan uji dan terdiri dari dua hubungan ke kawat tembaga yang dipertahankan pada suhu lebur es. Sambungan patokan terdiri atas dua hubungan yang satu menghubungkan A dengan tembaga dan yang satu lagi menghubungkan B dengan tembaga. Kedua hubungan itu dibuat konstan pada suhu yang disebut suhu patokan. Sifat termometrik pada termometer ini adalah gaya gerak listrik (ggl) yang dapat diukur dengan potensiometer.

Besaran ini dikalibrasi dengan mengukur elektromotansi termal pada berbagai suhu yang diketahui, dengan sambungan patokan dijaga tetap pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Kisaran daerah suhu yang diukur suatu termokopel bergantung pada bahan yang digunakan. Termokopel platina, 10%rodium/platina berkisar antara  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $1600^{\circ}\text{C}$ .

Yang sering dipakai adalah termokopel yang salah satu hubungannya terbuat dari platina murni dan yang satu lagi 90% platina dan 10% radium. Keuntungan termokopel terletak pada cepatnya mencapai kesetimbangan termal dengan sistem yang

akan diukur suhunya. Jadi termokopel dapat mengikuti perubahan suhu dengan cepat tetapi tidak begitu cermat seperti termometer hambatan platina. Pengukuran suhu pada termokopel dirumuskan sebagai berikut:

$$T(e) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{e}{e_{tr}} \dots\dots\dots (15)$$

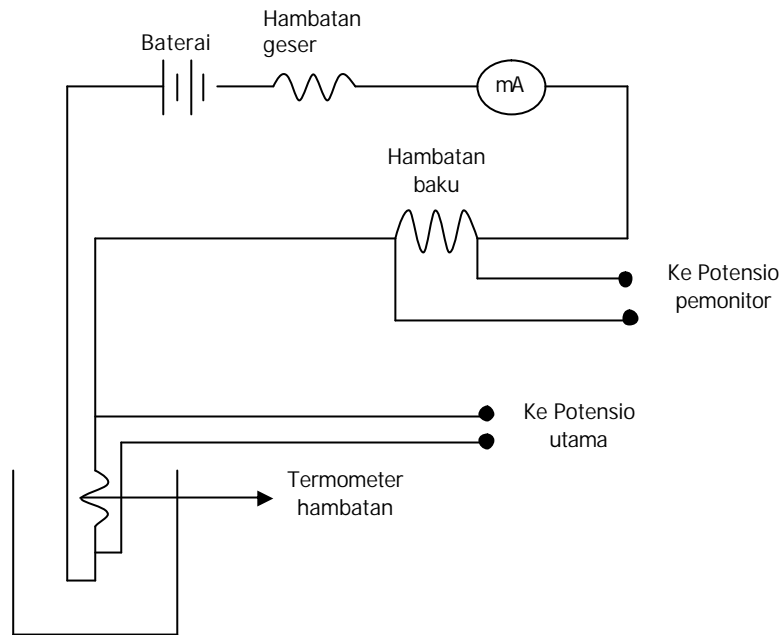
✍ **Termometer Hambatan Listrik**

Hambatan listrik dari logam akan bertambah apabila suhu logam naik. Sifat ini yang dipakai sebagai dasar kerja thermometer hambatan listrik. Jika thermometer hambatan listrik berbentuk kawat halus yang panjang, biasanya kawat itu dililitkan pada kerangka tipis untuk menghindari regangan berlebihan ketika kawat mengerut pada waktu dingin.

Dalam keadaan khusus, kawat itu dapat dililitkan pada atau dimasukkan dalam bahan yang suhunya akan diukur. Dalam kisaran suhu rendah, thermometer hambatan sering kali terdiri atas hambatan radio dan terbuat dari komposisi karbon dan kristal germanium yang didoping dengan arsenik dan dimasukkan dalam kapsul tertutup berisi helium.

Termometer ini dapat ditempelkan pada permukaan zat yang suhunya akan diukur atau diletakkan dalam lubang yang digurdi untuk maksud itu. Biasanya hambatan diukur dengan mempertahankan arus tetap yang besarnya diketahui dalam thermometer itu dan mengukur beda potensial kedua ujung hambatan dengan pertolongan potensiometer yang sangat peka.

Rangkaian yang sering dipakai untuk maksud itu ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Arus dibuat tetap dengan cara mengatur hambatan geser sehingga beda potensial kedua ujung hambatan baku yang terpasang seri dengan termometer, seperti terlihat pada potensiometer pemonitor, tetap sama. Termometer hambatan platina dapat dipakai untuk pekerjaan yang sangat cermat dalam kisaran antara  $-253^{\circ}\text{C}$  sampai  $1200^{\circ}\text{C}$ .

Pengukuran suhu pada termometer hambatan listrik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(R) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{R}{R_{tr}} \dots\dots\dots (15)$$

### 3) Pemuai Zat

Salah satu sifat zat pada umumnya adalah mengalami perubahan dimensi/ukuran (panjang, luas, dan volume) jika dikenai perubahan suhu. Jika suatu zat diberi kalor/panas, maka zat tersebut mengalami:

- ✍ perubahan suhu (mengalami kenaikan suhu)
- ✍ perubahan wujud/fase
- ✍ pemuai/ekspansi (mengalami pertambahan ukuran)

Besarnya pertambahan ukuran/dimensi benda ditentukan oleh:

- ✍ jenis benda

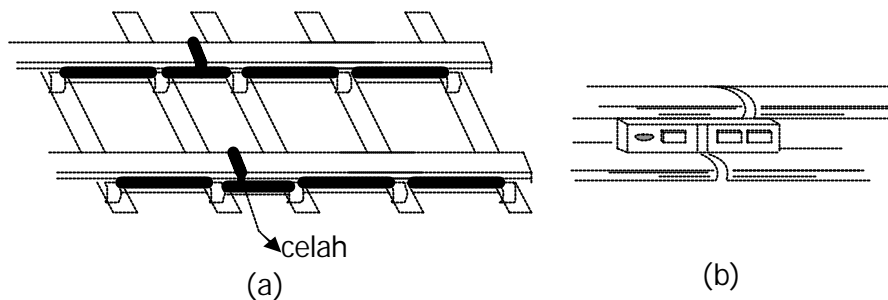
- ✍ ukuran benda mula-mula
- ✍ jumlah kalor yang diberikan

Benda padat, cair, maupun gas semuanya terdiri dari partikel-partikel atau molekul-molekul yang senantiasa bergerak dan saling tarik menarik satu sama lain. Kenaikan temperatur/suhu menyebabkan jarak rata-rata antara atom-atom bertambah sehingga menyebabkan benda berekspansi/memuai. Jelasnya, ketika benda dipanaskan, gerak molekul-molekul bertambah cepat sehingga molekul-molekul akan terdorong saling menjauhi dan akibatnya volume benda bertambah besar. Pada keadaan ini dinyatakan bahwa benda tersebut mengalami pemuaian (berekspansi).

Jika benda didinginkan, maka gerak molekul menjadi lambat sehingga gaya tarik menarik antar molekul mengecil dan akibatnya volume benda menyusut. Pada keadaan ini dinyatakan bahwa benda mengalami penyusutan. Jadi semua benda, baik padat, cair, maupun gas pada umumnya berekspansi/memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan, kecuali air pada suhu antara  $0^{\circ}\text{C}$ - $4^{\circ}\text{C}$ , justru menyusut jika suhu dinaikkan. Contoh zat lainnya yang menyusut jika dipanaskan adalah bismut dan parafin.

Perubahan ukuran benda karena kenaikan suhu biasanya tidak besar kadang-kadang tidak dapat diamati terutama pada zat padat, namun akibatnya dapat dirasakan. Sebagai contoh, rel-rel kereta api pada siang hari yang panas akan melengkung karena pemuaian apabila pemasangannya tidak benar, dalam hal ini rel-rel itu tidak diberi peluang untuk memuai atau ekspansi.

Semestinya di antara sambungan rel-rel kereta api dibuat celah agar pada siang hari yang panas bila terjadi pemuaian, rel tidak melengkung. Kadang-kadang celah telah dibuat, namun rel masih mungkin memanjang dan menutupi celah sehingga batang rel-rel kereta api melengkung. Untuk mengatasi hal itu, dibuat lubang-lubang baut berbentuk lonjong seperti terlihat pada gambar.



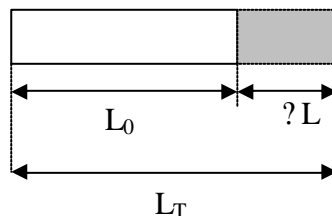
**a) Pemuaian zat padat**

Bila zat padat dipanaskan, maka suhunya naik dan memuai. Pemuaian yang dialami oleh zat padat adalah pemuaian panjang, pemuaian luas, dan pemuaian volume.

***Pemuaian panjang***

Beberapa zat padat seperti besi, aluminium, dan tembaga ternyata mengalami pemuaian yang berbeda ketika dipanaskan. Batang aluminium dan batang besi yang panjangnya sama, ketika dipanaskan dengan kenaikan suhu yang sama, aluminium memuai lebih dari dua kali pemuaian besi.

Perbedaan sifat muai berbagai zat ditentukan oleh koefisien muai panjang dari masing-masing zat itu sendiri. Apakah koefisien muai panjang itu? Perhatikan gambar di bawah ini.



Koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang zat ( $\Delta L$ ) dengan panjangnya semula ( $L_0$ ), untuk setiap kenaikan suhu sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ). Definisi ini ditulis dalam bentuk persamaan seperti berikut:

$$a = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (16)$$

atau dapat ditulis:

$$\Delta L = a \cdot L_0 \cdot \Delta T \dots\dots\dots (17)$$

dengan  $\Delta L$  = pertambahan panjang (m)

$$\Delta L = L_T - L_0 \dots\dots\dots (18)$$

Bila persamaan (18) disubstitusikan pada persamaan (17), maka diperoleh:

$$L_T = L_0 \cdot (1 + \Delta T) \dots\dots\dots (19)$$

dengan:  $L_0$  = panjang mula-mula (m)

$L_T$  = panjang pada suhu T (m)

$\Delta T$  = perubahan suhu = suhu akhir – suhu awal ( $^{\circ}\text{C}$  atau K)

$a$  = koefisien muai panjang ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$  atau  $\text{K}^{-1}$ )

**Tabel 2:** Koefisien muai panjang beberapa zat

No	Zat	$a \times 10^{-6} (\text{K}^{-1})$ atau ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
1	Seng	26
2	Aluminium	24
3	Kuningan	20
4	Perunggu	19
5	Tembaga merah	14
6	Beton/Baja	12
7	Besi	11
8	Kaca	9
9	Grafit	7,9
10	Pyrex	3,2
11	Karbon/berlian	1,2
12	Invar	1,0
13	Silika	0,42

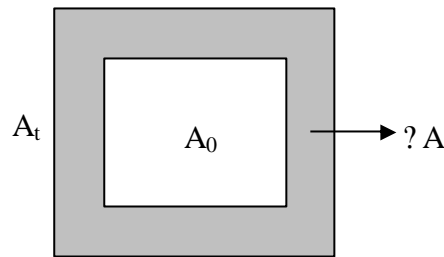
### **Pemuaiian luas**

Benda padat yang berbentuk bidang seperti pelat-pelat besi atau lembaran kaca, lebih tepat ditinjau muai luasnya atau muai bidangnya. Pemuaiian luas berbagai zat bergantung pada koefisien muai luasnya.

Koefisien muai luas suatu zat ( $\beta$ ) adalah perbandingan antara pertambahan luas zat ( $\Delta A$ ) dengan luas semula ( $A_0$ ), untuk setiap



kenaikkan suhu sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ). Perhatikan gambar berikut:



Definisi tersebut di atas dinyatakan dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$\beta = \Delta A / (A_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (20)$$

Atau:

$$\Delta A = \beta \cdot (A_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (21)$$

dengan  $\Delta A$  = pertambahan luas ( $m^2$ )

$$\Delta A = A_T - A_0 \dots\dots\dots (22)$$

Dengan penalaran yang sama, seperti pada pemuaian panjang, pada pemuaian luas berlaku persamaan:

$$A_T = A_0 (1 + \beta \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (23)$$

dengan:

$A_0$  = luas mula-mula ( $m^2$ )

$A_T$  = luas setelah dipanaskan ( $m^2$ )

$\Delta T$  = kenaikan suhu (K atau  $^{\circ}C$ )

$\beta$  = koefisien muai luas ( $K^{-1}$  atau  $^{\circ}C^{-1}$ )

Hubungan koefisien muai luas ( $\beta$ ) dengan koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) adalah sebagai berikut:

$$\beta = 2 \alpha \dots\dots\dots (24)$$

Benda padat berbentuk kubus, balok, bola dan sebagainya, ketika dipanaskan akan mengalami pemuaian volume. Pemuaian

volume berbagai zat (padat, cair dan gas) bergantung pada koefisien muai volumenya.

Koefisien volume suatu zat ( $\beta$ ) adalah perbandingan antara pertambahan volume ( $\Delta V$ ) dengan volume mula-mula ( $V_0$ ), untuk tiap kenaikan suhu sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ) dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (25)$$

Atau:

$$\Delta V = \beta \cdot (V_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (26)$$

dengan  $\Delta V =$  pertambahan volume ( $m^3$ )

$$\Delta V = V_T - V_0 \dots\dots\dots (27)$$

Dengan penalaran yang sama, seperti pada pemuaian panjang dan luas, pada pemuaian volume berlaku persamaan:

$$V_T = V_0 (1 + \beta \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (28)$$

Dengan:

$V_0 =$  volume mula-mula ( $m^3$ )

$V_T =$  volume setelah dipanaskan ( $m^3$ )

$\Delta T =$  kenaikan suhu (K atau  $^{\circ}C$ )

$\beta =$  koefisien muai volume ( $K^{-1}$  atau  $^{\circ}C^{-1}$ )

Hubungan koefisien muai volume ( $\beta$ ) dengan koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) adalah sebagai berikut:

$$\beta = 3 \alpha \dots\dots\dots (29)$$

### b) Pemuaian zat cair dan gas

Zat cair atau gas selalu mengikuti bentuk wadah. Zat cair atau gas dimasukkan ke dalam botol, maka bentuknya menyerupai botol. Karena mempunyai sifat tersebut, maka zat cair dan zat gas hanya mengalami muai volume saja.

Secara umum, pada pemuaian zat cair dan gas berlaku:

$$\beta = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (30)$$

Atau:

$$\Delta V = \beta \cdot (V_0 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (31)$$

dengan  $\Delta V =$  pertambahan volume ( $m^3$ )

$$\Delta V = V_T - V_0 \dots\dots\dots (32)$$

dan

$$V_T = V_0 (1 + \beta \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (33)$$

Pada pemuaian gas tidaklah sesederhana muai zat padat dan muai zat cair. Pada sistem gas juga hanya terdapat koefisien muai ruang saja.

Untuk menentukan koefisien muai volume karena kenaikan suhu, maka tekanan gas harus dijaga tetap dan untuk menentukan koefisien muai tekanan karena kenaikan suhu, maka volume gas dijaga tetap.

Jadi pada hakekatnya, akibat kenaikan suhu di dalam gas tertentu akan terdapat perubahan volume dan tekanan.

Pada pembahasan yang berkaitan dengan sejumlah massa gas, ada hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- ? volume (V)
- ? tekanan (P)
- ? suhu (T)

Ketiga hal itu saling berkaitan, berhubungan dan dapat berubah-ubah. Adapun hubungan-hubungan yang dapat terjadi adalah sebagai berikut:

? Hubungan tekanan gas (P) dan volume gas (V) dengan suhu gas (T) tetap yang disebut proses *isotermis*. Hasil eksperimen *Robert Boyle* disimpulkan sebagai *hukum Boyle*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada suhu konstan, tekanan gas berbanding terbalik terhadap*

volume"

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{konstanta}}{V} \text{ atau } P \cdot V = \text{konstanta} \dots (34)$$

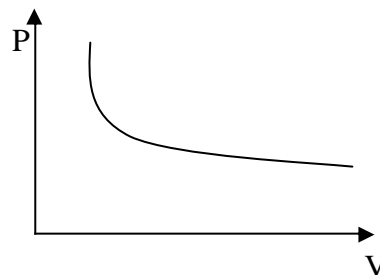
Sehingga berlaku:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \dots (35)$$

Dengan: P = tekanan gas (N/m<sup>2</sup>; pascal =Pa)

V = volume gas (m<sup>3</sup>)

Grafik hubungan P dan V pada suhu tetap (isotermis) dapat diilustrasikan sebagai berikut:



? Hubungan volume gas (V) dan suhu gas (T) dengan tekanan gas (P) tetap yang disebut *proses isobaris*. Hasil eksperimen *Charles* disimpulkan sebagai *hukum Charles*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

"Pada tekanan konstan, volume gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya".

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C \cdot T \text{ atau } \frac{V}{T} = C \dots (36)$$

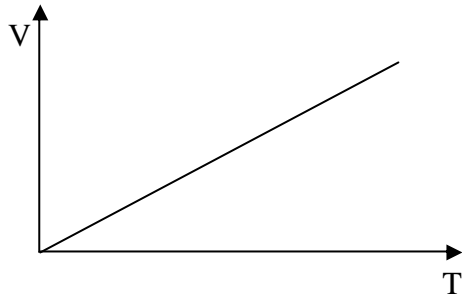
$$\text{Sehingga berlaku: } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \dots (37)$$

Dengan: V = volume (m<sup>3</sup>)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

Grafik hubungan V dan T dengan tekanan tetap (isobaris) dapat diilustrasikan sebagai berikut:



? Hubungan tekanan gas (P) dan suhu gas (T) dengan volume gas (V) tetap yang disebut *proses isokhoris atau isovolume*. Hasil eksperimen *Gay Lussac* disimpulkan sebagai *hukum Gay Lussac*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada volume konstan, tekanan gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya".*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = C \cdot T \text{ atau } \frac{P}{T} = C \dots\dots\dots (38)$$

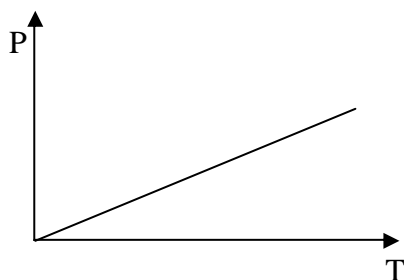
$$\text{Sehingga berlaku: } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \dots\dots\dots (39)$$

Dengan: P = tekanan (N/m<sup>2</sup>; pascal = Pa)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

Grafik hubungan P dan T dengan volume tetap (isokhoris) dapat diilustrasikan sebagai berikut:



? Hubungan tekanan gas (P), volume gas (V) dan suhu gas (T). Hasil eksperimen *Boyle, Gay Lussac dan Charles* disimpulkan sebagai *hukum Boyle- Gay Lussac*, yang diasumsikan bahwa

tekanan dan suhu gas *sama* di setiap bagian gas tersebut. Hal ini berarti gas berada dalam keadaan *setimbang mekanis dan termis*. Jika perumusan Boyle, Gay Lussac dan Charles digabungkan maka diperoleh perumusan sebagai berikut:

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P \cdot V = C \cdot T \text{ atau } \frac{P \cdot V}{T} = C \dots\dots\dots (40)$$

$$\text{Sehingga berlaku: } \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \dots\dots\dots (41)$$

Dengan: P = tekanan (N/m<sup>2</sup>; pascal = Pa)

V = volume (m<sup>3</sup>)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

Dari pengukuran tekanan, volume, suhu, dan jumlah mol gas didapat kesimpulan yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai *persamaan keadaan gas ideal* sebagai berikut:

$$P V = n R T \dots\dots\dots (42)$$

Dengan: n = jumlah mol zat (mol)

R = konstanta gas universal/gas umum

R = 8,314 J/mol. K

R = 8,314 x 10<sup>3</sup> J/kmol. K

R = 0,08207 liter.atm/mol. K

R = 1,99 kal/mol. K

R = 1545,33 lb.ft/lbm.mol. K

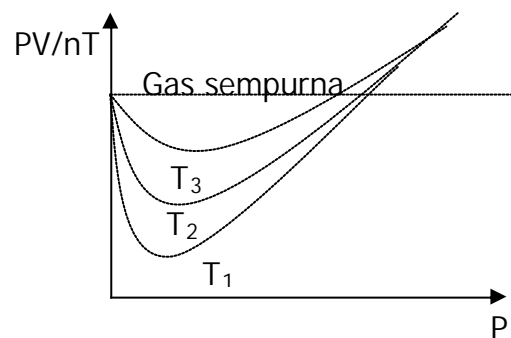
Dalam persamaan (42) tersirat suatu hubungan ideal yang diwujudkan oleh model matematika sederhana yang menggambarkan perilaku gas.

*Gas ideal adalah gas yang memenuhi persamaan  $P V = n R T$  untuk semua tekanan dan suhu.* Umumnya perilaku gas riil

mendekati model gas ideal pada tekanan rendah (saat molekul-molekul gas terpisah cukup jauh).

Semula diduga bahwa tiap gas memiliki nilai R tertentu, tetapi hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai R tersebut besarnya sama untuk semua gas sehingga disebut sebagai *konstanta gas universal/konstanta gas umum*.

Ilustrasi tingkah laku gas sempurna keadaan ideal seperti berikut.



Pada gambar di atas nisbah (ratio)  $PV/RT$  digambarkan sebagai fungsi  $P$  untuk berbagai  $T$ . Untuk gas ideal, nilai nisbah tersebut adalah konstan, namun untuk gas riil nilainya bertambah untuk suhu-suhu yang semakin rendah. Pada suhu yang cukup tinggi dan tekanan yang cukup rendah, nisbah itu mendekati nilai  $R$  untuk gas ideal.

Akan ditinjau hubungan antara:

? Perubahan volume gas dan perubahan suhu gas pada tekanan gas dibuat tetap. Pada muai volume gas, koefisien muai volume ( $\alpha_p$ ) untuk semua gas pada tekanan tetap adalah  $\alpha_p$  yang besarnya:

$$\alpha_p = 1/273 \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-1} \text{ atau } (\text{K})^{-1} \dots\dots\dots (43)$$

Jadi secara khusus untuk pemuaian gas pada tekanan tetap berlaku:

$$\Delta V = \alpha_p \cdot V_0 \cdot \Delta T \dots\dots\dots (44)$$

atau:

$$V_T = V_o (1 + \alpha T/273) \dots\dots\dots (45)$$

$\alpha$  Perubahan tekanan gas dan perubahan suhu gas pada volume gas dibuat tetap. Pada perubahan tekanan gas, koefisien tekanan gas ( $\alpha_v$ ) untuk semua gas pada volume tetap adalah  $\alpha_v$  yang besarnya:

$$\alpha_v = 1/273 \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1} \text{ atau (K)}^{-1} \dots\dots\dots (46)$$

Untuk pemuaian gas pada volume tetap berlaku:

$$P_T = P_o (1 + \alpha T/273) \dots\dots\dots (45)$$

**Tabel 3:** Koefisien Volume Beberapa Zat

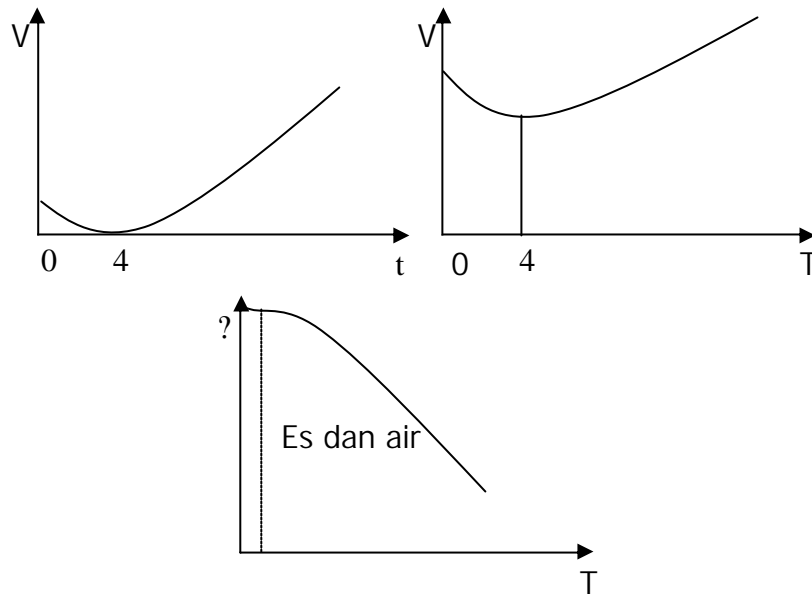
No	Zat	$\alpha \times 10^{-4} \text{ (K)}^{-1} \text{ atau (}^\circ\text{C)}^{-1}$
1	Udara	36,7
2	Aseton	15
3	Karbon sulfide	11,5
4	Etil alkohol	11,2
5	Alkohol	11
6	Terpentin	10,5
7	Parafin	10
8	Gliserin	5,3
9	Air	4,4
10	Air raksa	1,8

#### 4) Anomali Air

Di atas telah disebutkan bahwa setiap zat bila dipanaskan volumenya akan bertambah besar karena pemuaian, tetapi hal ini tidak berlaku untuk air pada suhu antara 0°C-4°C. Pada suhu 0°C- 4°C, bila air dipanaskan maka volumenya akan berkurang. Penyimpangan sifat air dari sifat umum ini disebut *anomali air*.

Hubungan perubahan suhu dengan perubahan volume air dan perubahan suhu dengan massa jenis air ditunjukkan oleh grafik pada gambar di bawah ini.





Nampak pada gambar di atas, bahwa volume air mencapai nilai minimum (paling kecil) pada suhu 4°C dan massa jenis air maksimum pada suhu 4°C.

? Pengaruh pemuaian pada massa jenis zat.

Pada umumnya pemanasan pada suatu zat akan menyebabkan volume zat bertambah, sedangkan massa zat tetap. Bertambahnya volume akan mempengaruhi massa jenis atau kerapatan zat.

Pada suhu 0° C	: massa zat	= m <sub>o</sub>	
	volume zat	= V <sub>o</sub>	
	massa jenis zat	= ρ <sub>o</sub>	→ ρ <sub>o</sub> = m <sub>o</sub> /V <sub>o</sub>
Pada suhu t° C	: massa zat	= m <sub>t</sub>	
	volume zat	= V <sub>t</sub>	
	massa jenis zat	= ρ <sub>t</sub>	→ ρ <sub>t</sub> = m <sub>t</sub> /V <sub>t</sub>
Karena massa zat adalah tetap	m <sub>t</sub>	= m <sub>o</sub>	maka:
	ρ <sub>t</sub> · V <sub>t</sub>	= ρ <sub>o</sub> · V <sub>o</sub>	

$$\rho_t \cdot V_o (1 + \beta T) = \rho_o \cdot V_o \rightarrow \rho_t = \rho_o / (1 + \beta T) \dots (46)$$

### c. Rangkuman

1. Suhu adalah ukuran derajat panas dinginnya suatu benda.
2. Keseimbangan termal adalah suatu keadaan dimana suhu antara dua benda atau lebih dalam keadaan sama atau tidak terjadi pertukaran kalor.
3. Dinding diatermik adalah suatu dinding yang dapat menghantarkan kalor. Sedangkan dinding adiabatik adalah suatu dinding yang tidak dapat menghantarkan kalor.
4. Jika sistem A setimbang dengan sistem B dan sistem A setimbang dengan sistem C, maka sistem B setimbang dengan sistem C.
5. Untuk menentukan skala suhu secara kuantitatif digunakan dua titik tetap yaitu titik uap (*steam point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap atas dan titik es (*ice point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap bawah.
6. Suhu pada titik uap, didefinisikan sebagai suhu air dan uap yang berada dalam keadaan setimbang pada tekanan 1 atmosfer. Suhu pada titik es adalah suhu campuran es dan air dalam keadaan setimbang dengan udara jenuh pada tekanan 1 atmosfer. Pada skala Celcius, titik es diberi angka 0 dan titik uap diberi angka 100.
7. Untuk memperoleh titik tripel air adalah sebagai berikut: air dengan kemurnian tinggi dengan komposisi isotropik yang sama dengan air laut dimasukkan ke dalam bejana.

Andaikan sifat termometrik yang perubahannya sebanding dengan perubahan suhu dinyatakan dengan  $X$  maka fungsi termometrik  $T(X)$  yang menentukan skala suhu dapat ditulis:

$$T(X) = a.X$$

Dengan:  $a$  = konstanta yang bergantung pada zat termometrik.

Jika dinyatakan nilai-nilai pada titik tripel dengan indeks  $tr$  maka

didapat rumus penentuan suhu untuk setiap termometer sebagai berikut:

$$\frac{T(X)}{T(X_{tr})} = \frac{X}{X_{tr}}$$

Atau:

$$T(X) = T(X_{tr}) \cdot \frac{X}{X_{tr}}$$

Dengan:  $T(X_{tr})$  adalah suhu tripel atau :  $T(X_{tr}) = 273,16 \text{ K}$

Persamaan (3) dapat ditulis:  $T(X) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{X}{X_{tr}}$

Substitusi persamaan (4) ke persamaan (2) maka didapatkan:

$$a = \frac{273,16\text{K}}{X_{tr}}$$

Dengan	:	$T(X)$	=	suhu yang hendak diukur.
		$T(X_{tr})$	=	suhu pada titik tripel.
		$X$	=	sifat termometrik pada suhu yang akan ukur.
		$X_{tr}$	=	sifat termometrik pada suhu tripel.
		$a$	=	konstanta yang bergantung pada zat termometrik.

8. Beberapa besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu antara lain:
  - ? perubahan panjang kolom cairan (L),
  - ? hambatan listrik pada kawat (R),
  - ? tekanan gas pada volume konstan (P),
  - ? volume gas pada tekanan konstan (V),
  - ? gaya gerak listrik (e),
  - ? intensitas cahaya (I).
9. Zat termometrik (*thermometric substance*) adalah zat-zat yang mempunyai sifat yang berubah bila suhunya berubah. Contoh; alkohol, air raksa, dan gas.

10. Sifat termometrik (*thermometric property*) adalah besaran-besaran fisis yang berubah bila suhunya berubah. Contoh:

- ? perubahan panjang kolom cairan (L),
- ? hambatan listrik pada kawat (R),
- ? tekanan gas pada volume konstan (P),
- ? volume gas pada tekanan konstan (V),
- ? gaya gerak listrik (e),
- ? intensitas cahaya (I).

11. Hubungan skala suhu Celcius, Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin sebagai berikut:

$$\frac{C}{5} = \frac{R}{4} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} = \frac{R_n - 492}{9}$$

atau:

C: R: F: K: R<sub>n</sub> = 100 skala: 80 skala: 180 skala: 100 skala: 180 skala

Atau

C: R: F: K: R<sub>n</sub> = 5: 4: 9 : 5: 9

12. Termometer Zat Cair Dalam Gelas

Prinsip kerja termometer jenis ini adalah berdasarkan pemuaian zat cair yang ada di dalam tabung kapiler pada termometer tersebut.

Termometer Gas Volume Tetap

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan pemuaian zat gas pada termometer tersebut. Dan Pengukuran suhu pada termometer gas volume tetap dirumuskan:

$$T(P) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{P}{P_{tr}}$$

**Pirometer**

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan perubahan hambatan sebagai fungsi dari perubahan suhu. Dan pengukuran suhu pada pirometer optik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(I) = 273,16 \text{ K. } \frac{I}{I_t}$$

### Termokopel

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan perubahan gaya gerak listrik (ggl) sebagai fungsi dari perubahan suhu. Besarnya ggl yang terjadi dimanfaatkan untuk pengukuran suhu. Dan pengukuran suhu pada termokopel dirumuskan sebagai berikut:

$$T(e) = 273,16 \text{ K. } \frac{e}{e_{tr}}$$

### Termometer Hambatan Listrik

Prinsip kerja termometer ini adalah dengan cara menempelkan termometer pada permukaan zat yang suhunya akan diukur atau diletakkan dalam lubang yang digurdi untuk maksud itu. dengan mempertahankan arus tetap yang besarnya diketahui dalam termometer itu dan mengukur beda potensial kedua ujung hambat dengan pertolongan potensiometer yang sangat peka. Dan pengukuran suhu pada termometer hambatan listrik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(R) = 273,16 \text{ K. } \frac{R}{R_t}$$

13. Perubahan dimensi/ukuran (panjang, luas, dan volume) suatu zat jika diberi kalor/panas, maka zat tersebut mengalami:

- ☞ perubahan suhu (mengalami kenaikan suhu),
- ☞ perubahan wujud/fase,
- ☞ pemuaian/ekspansi (mengalami penambahan ukuran).

Besarnya penambahan ukuran/dimensi benda ditentukan oleh:

- ☞ jenis benda,
- ☞ ukuran benda mula-mula,
- ☞ jumlah kalor yang diberikan.

14. Pemuaian adalah perubahan ukuran suatu benda akibat

perubahan suhu yang terjadi pada benda tersebut. Hal ini disebabkan adanya gerak partikel yang terjadi di dalam zat yang saling bertumbukkan.

Jika suatu zat dipanaskan maka volumenya akan bertambah besar karena pemuaian, tetapi hal ini tidak berlaku untuk air pada suhu antara 0°C-4°C. Pada suhu 0°C- 4°C, volume air mencapai nilai minimum (paling kecil) pada suhu 4°C dan massa jenis air maksimum pada suhu 4°C.

? Pengaruh pemuaian pada massa jenis zat.

Pada umumnya pemanasan pada suatu zat akan menyebabkan volume zat bertambah, sedangkan massa zat tetap. Bertambahnya volume akan mempengaruhi massa jenis atau kerapatan zat.

Pada suhu 0° C	: massa zat	=	$m_o$
	volume zat	=	$V_o$
	massa jenis zat	=	$\rho_o \rightarrow \rho_o = m_o/V_o$
Pada suhu t° C	: massa zat	=	$m_t$
	volume zat	=	$V_t$
	massa jenis zat	=	$\rho_t \rightarrow \rho_t = m_t/V_t$
Karena massa zat adalah tetap		$m_t = m_o$ ,	maka:
		$\rho_t \cdot V_t = \rho_o \cdot V_o$	
	$\rho_t \cdot V_o (1 + \beta T) = \rho_o \cdot V_o$	$\rightarrow$	$\rho_t = \rho_o / (1 + \beta T)$

## 15. Pemuaian zat cair dan gas

Secara umum, pada pemuaian zat cair dan gas berlaku:

$$\Delta V = \beta V_o \Delta T$$

Atau:

$$\Delta V = \beta \cdot (V_o \cdot \Delta T)$$

dengan  $\Delta V$  = pertambahan volume ( $m^3$ )

$$\Delta V = V_T - V_o$$

dan

$$V_T = V_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Pada pembahasan yang berkaitan dengan sejumlah massa gas, ada hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- ? volume (V)
- ? tekanan (P)
- ? suhu (T)

Ketiga hal itu saling berkaitan, berhubungan dan dapat berubah-ubah. Adapun hubungan-hubungan yang dapat terjadi adalah sebagai berikut:

- ? Hubungan tekanan gas (P) dan volume gas (V) dengan suhu gas (T) tetap yang disebut proses *isotermis*. Hasil eksperimen *Robert Boyle* disimpulkan sebagai *hukum Boyle*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada suhu konstan, tekanan gas berbanding terbalik terhadap volume"*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{konstanta}}{V} \text{ atau } P \cdot V = \text{konstanta}$$

Sehingga berlaku:  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$

Dengan: P = tekanan gas (N/m<sup>2</sup>; pascal =Pa)

V = volume gas (m<sup>3</sup>)

- ? Hubungan volume gas (V) dan suhu gas (T) dengan tekanan gas (P) tetap yang disebut *proses isobaris*. Hasil eksperimen *Charles* disimpulkan sebagai *hukum Charles*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada tekanan konstan, volume gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya".*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C \cdot T \text{ atau } \frac{V}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Dengan:  $V = \text{volume (m}^3\text{)}$

$T = \text{suhu mutlak (K)}$

$C = \text{konstanta}$

- ? Hubungan tekanan gas ( $P$ ) dan suhu gas ( $T$ ) dengan volume gas ( $V$ ) tetap yang disebut *proses isokhoris atau isovolume*. Hasil eksperimen *Gay Lussac* disimpulkan sebagai *hukum Gay Lussac*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada volume konstan, tekanan gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya".*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = C \cdot T \text{ atau } \frac{P}{T} = C$$

$$\text{Sehingga berlaku: } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Dengan :  $P = \text{tekanan (N/m}^2\text{; pascal = Pa)}$

$T = \text{suhu mutlak (K)}$

$C = \text{konstanta}$

- ? Hubungan tekanan gas ( $P$ ), volume gas ( $V$ ) dan suhu gas ( $T$ ). Hasil eksperimen *Boyle, Gay Lussac dan Charles* disimpulkan sebagai *hukum Boyle-Gay Lussac*, yang diasumsikan bahwa tekanan dan suhu gas *sama* di setiap bagian gas tersebut. Hal ini berarti gas berada dalam keadaan *setimbang mekanis dan termis*. Jika perumusan Boyle, Gay Lussac, dan Charles digabungkan maka diperoleh perumusan secara matematis sebagai berikut:

$$P \cdot V = C \cdot T \text{ atau } \frac{P \cdot V}{T} = C$$

$$\text{Sehingga berlaku: } \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Dengan :  $P = \text{tekanan (N/m}^2\text{; pascal = Pa)}$

$V = \text{volume (m}^3\text{)}$

$T = \text{suhu mutlak (K)}$

$C = \text{konstanta}$



#### **d. Tugas**

Bacalah uraian materi berulang-ulang sampai anda memahami rumus-rumus yang digunakan, kemudian kerjakan tes formatif. Bila anda kesulitan mengerjakan tes formatif, maka pelajailah lagi uraian materi di atas sampai anda bisa mengerjakan tes formatif.

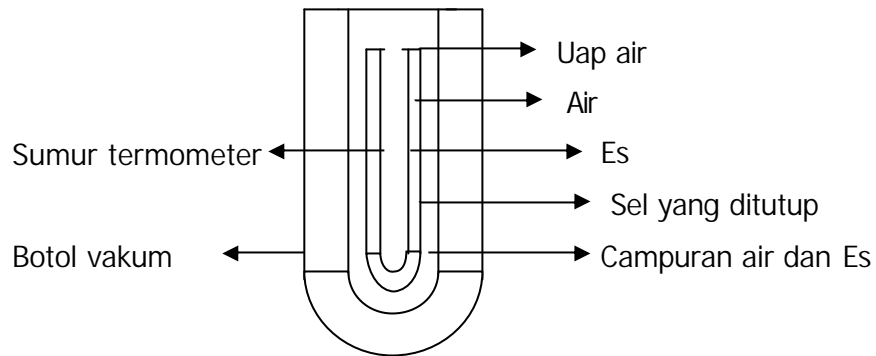
#### **e. Tes Formatif**

1. Jelaskan pengertian suhu dengan benar!
2. Jelaskan tentang kesetimbangan termal suatu sistem!
3. Jelaskan perbedaan dinding diatermik dan dinding adiabatik!
4. Jelaskan hukum ke-nol termodinamika/hukum kesetimbangan termal!
5. Jelaskan cara penentuan kuantitatif skala suhu!
6. Jelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan dua titik tetap!
7. Jelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan sel titik tripel!
8. Jelaskan minimal tujuh contoh besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu!
9. Jelaskan dengan benar pengertian zat termometrik disertai contohnya!
10. Jelaskan sifat termometrik dengan benar disertai contoh.
11. Jelaskan bagaimanakah hubungan konversi skala suhu Celcius, Kelvin, Rankine, Reamur, dan Fahrenheit!
12. Jelaskan prinsip kerja lima macam termometer disertai contoh dengan benar!
13. Jelaskan kemungkinan perubahan sifat benda bila mengalami perubahan suhu!
14. Jelaskan konsep pemuaian/ekspansi temperatur dengan benar!

15. Jelaskan peristiwa anomali air dengan benar!
16. Jelaskan muai volume gas berkaitan dengan hukum Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle Gay Lussac!

#### **f. Kunci Jawaban Formatif**

1. Suhu adalah ukuran derajat panas dinginnya suatu benda.
2. Kesetimbangan termal adalah suatu keadaan dimana suhu antara dua benda atau lebih dalam keadaan sama atau tidak terjadi pertukaran kalor.
3. Dinding diatermik adalah suatu dinding yang dapat menghantarkan kalor. Sedangkan dinding adiabatik adalah suatu dinding yang tidak dapat menghantarkan kalor.
4. Jika sistem A setimbang dengan sistem B dan sistem A setimbang dengan sistem C, maka sistem B setimbang dengan sistem C.
5. Untuk menentukan skala suhu secara kuantitatif diperlukan suatu titik tetap. Sebelum tahun 1954, digunakan dua titik tetap yaitu titik uap (*steam point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap atas dan titik es (*ice point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap bawah.
6. Suhu pada titik uap, didefinisikan sebagai suhu air dan uap yang berada dalam keadaan setimbang pada tekanan 1 atmosfer. Suhu pada titik es adalah suhu campuran es dan air dalam keadaan setimbang dengan udara jenuh pada tekanan 1 atmosfer. Pada skala Celcius, titik es diberi angka 0 dan titik uap diberi angka 100.
7. Untuk memperoleh titik tripel air adalah sebagai berikut: air dengan kemurnian tinggi dengan komposisi isotropik yang sama dengan air laut dimasukkan ke dalam bejana yang bagannya terlihat dalam gambar di bawah ini.



Jika semua udara di dalam bejana sudah tidak ada karena telah didesak air, bejana ditutup rapat. Dengan memasukkan campuran pembeku ke dalam ruang antara kedua kaki tabung (bagian lekuk) maka terbentuk lapisan es di sekitar dinding bejana bagian dalam dan bagian atas terkumpul uap air. Jika campuran pembeku diganti dengan bola termometer maka lapisan tipis es di dekatnya melebur. Selama waktu fase padatan, cairan, dan uap ada dalam kesetimbangan, sistem dikatakan berada pada titik tripel.

Pengukuran suhu dan penentuan suhu dengan menggunakan titik tripel sebagai titik tetap baku dapat dijelaskan sebagai berikut:

Andaikan sifat termometrik yang perubahannya sebanding dengan perubahan suhu dinyatakan dengan  $X$  maka fungsi termometrik  $T(X)$  yang menentukan skala suhu dapat ditulis:

$$T(X) = a \cdot X$$

Dengan:  $a$  = konstanta yang bergantung pada zat termometrik. Jika dinyatakan nilai-nilai pada titik tripel dengan indeks  $tr$  maka didapat rumus penentuan suhu untuk setiap termometer sebagai berikut:

$$\frac{T(X)}{T(X_{tr})} = \frac{X}{X_{tr}}$$

Atau:

$$T(X) = T(X_{tr}) \cdot \frac{X}{X_{tr}}$$

Dengan:  $T(X_{tr})$  adalah suhu tripel atau :  $T(X_{tr}) = 273,16 \text{ K}$

Persamaan (3) dapat ditulis:  $T(X) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{X}{X_{tr}}$

Substitusi persamaan (4) ke persamaan (2) maka didapatkan:

$$a = \frac{273,16 \text{ K}}{X_{tr}}$$

Dengan :  $T(X)$  = suhu yang hendak diukur

$T(X_{tr})$  = suhu pada titik tripel

$X$  = sifat termometrik pada suhu yang akan diukur

$X_{tr}$  = sifat termometrik pada suhu tripel

$a$  = konstanta yang bergantung pada zat termometrik

8. Beberapa besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu antara lain
  - ? perubahan panjang kolom cairan (L)
  - ? hambatan listrik pada kawat (R)
  - ? tekanan gas pada volume konstan (P)
  - ? volume gas pada tekanan konstan (V)
  - ? gaya gerak listrik (e)
  - ? intensitas cahaya (I)
9. Zat termometrik (*thermometric substance*) adalah zat-zat yang mempunyai sifat yang berubah bila suhunya berubah. Contoh; alkohol, air raksa, dan gas.
10. Sifat termometrik (*thermometric property*) adalah besaran-besaran fisis yang berubah bila suhunya berubah. Contoh:
  - ? perubahan panjang kolom cairan (L)
  - ? hambatan listrik pada kawat (R)

- ? tekanan gas pada volume konstan (P)
- ? volume gas pada tekanan konstan (V)
- ? gaya gerak listrik (e)
- ? intensitas cahaya (I)

11. Hubungan skala suhu Celcius, Reamur, Fahrenheit, Kelvin, dan Rankine sebagai berikut:

$$\frac{C}{5} = \frac{R}{4} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} = \frac{Rn - 492}{9}$$

atau:

C: R: F: K: Rn = 100 skala: 80 skala: 180 skala: 100 skala: 180 skala

Atau

C: R: F: K: Rn = 5: 4: 9 : 5: 9

## 12. Termometer Zat Cair dalam Gelas

Prinsip kerja termometer jenis ini adalah berdasarkan pemuaian zat cair yang ada di dalam tabung kapiler pada termometer tersebut.

### Termometer Gas Volume Tetap

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan pemuaian zat gas pada termometer tersebut. Dan Pengukuran suhu pada thermometer gas volume tetap dirumuskan:

$$T(P) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{P}{P_{tr}}$$

### Pirometer

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan perubahan hambatan sebagai fungsi dari perubahan suhu. Pirometer ini khusus untuk mengukur suhu yang sangat tinggi, misalnya suhu cairan logam di pabrik pengelolaan logam. Di dunia industri, selain pirometer hambatan, dikenal juga yang disebut pirometer optik (optical pyrometer). Dan pengukuran suhu pada pirometer optik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(I) = 273,16 \text{ K. } \frac{I}{I_t}$$

### Termokopel

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan perubahan gaya gerak listrik (ggl) sebagai fungsi dari perubahan suhu. Besarnya ggl yang terjadi dimanfaatkan untuk pengukuran suhu. Dan pengukuran suhu pada termokopel dirumuskan sebagai berikut:

$$T(e) = 273,16 \text{ K. } \frac{e}{e_{tr}}$$

### Termometer Hambatan Listrik

Prinsip kerja termometer ini adalah dengan cara menempelkan termometer pada permukaan zat yang suhunya akan diukur atau diletakkan dalam lubang yang digurdi untuk maksud itu. Biasanya hambatan diukur dengan mempertahankan arus tetap yang besarnya diketahui dalam termometer itu dan mengukur beda potensial kedua ujung hambatan dengan pertolongan potensiometer yang sangat peka. Dan pengukuran suhu pada termometer hambatan listrik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(R) = 273,16 \text{ K. } \frac{R}{R_t}$$

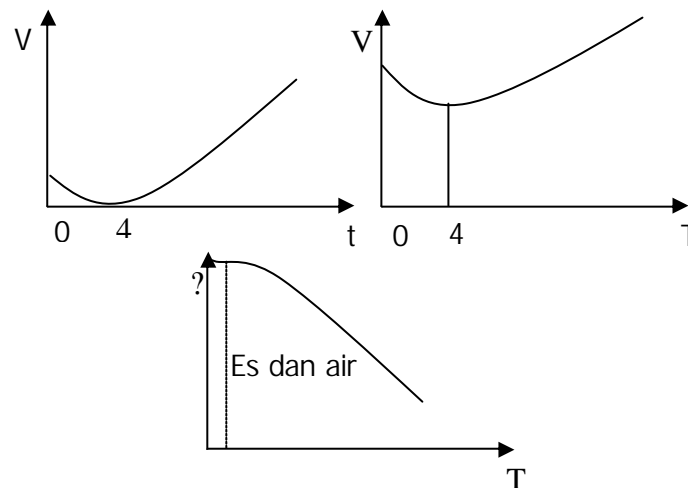
13. Perubahan dimensi/ukuran (panjang, luas, dan volume) suatu zat jika diberi kalor/panas, maka zat tersebut mengalami:

- ☞ perubahan suhu (mengalami kenaikan suhu)
- ☞ perubahan wujud/fase
- ☞ pemuaian/ekspansi (mengalami penambahan ukuran)

Besarnya penambahan ukuran/dimensi benda ditentukan oleh:

- ☞ jenis benda
- ☞ ukuran benda mula-mula
- ☞ jumlah kalor yang diberikan.

14. Pemuaian adalah perubahan ukuran suatu benda akibat perubahan suhu yang terjadi pada benda tersebut. Hal ini disebabkan adanya gerak partikel yang terjadi di dalam zat yang saling bertumbukkan.
15. Jika suatu zat dipanaskan maka volumenya akan bertambah besar karena pemuaian, tetapi hal ini tidak berlaku untuk air pada suhu antara  $0^{\circ}\text{C}$ - $4^{\circ}\text{C}$ . Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ - $4^{\circ}\text{C}$ , bila air dipanaskan maka volumenya akan berkurang. Hubungan perubahan suhu dengan perubahan volume air dan perubahan suhu dengan massa jenis air ditunjukkan oleh grafik pada gambar di bawah ini.



Nampak pada gambar di atas, bahwa volume air mencapai nilai minimum (paling kecil) pada suhu  $4^{\circ}\text{C}$  dan massa jenis air maksimum pada suhu  $4^{\circ}\text{C}$ .

? Pengaruh pemuaian pada massa jenis zat.

Pada umumnya pemanasan pada suatu zat akan menyebabkan volume zat bertambah, sedangkan massa zat tetap. Bertambahnya volume akan mempengaruhi massa jenis atau kerapatan zat.

$$\begin{aligned}
 \text{Pada suhu } 0^{\circ}\text{C} \quad : \quad \text{massa zat} &= m_0 \\
 &\text{volume zat} &= V_0 \\
 &\text{massa jenis zat} &= \rho_0 \rightarrow \rho_0 = m_0/V_0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pada suhu } t^0 \text{ C} : \text{ massa zat} &= m_t \\
 \text{volume zat} &= V_t \\
 \text{massa jenis zat} &= \rho_t \rightarrow \rho_t = m_t/V_t
 \end{aligned}$$

Karena massa zat adalah tetap  $m_t = m_o$ , maka:

$$\rho_t \cdot V_t = \rho_o \cdot V_o$$

$$\rho_t \cdot V_o (1 + \beta T) = \rho_o \cdot V_o \rightarrow \rho_t = \rho_o / (1 + \beta T)$$

## 16. Pemuaian zat cair dan gas

Zat cair atau gas selalu mengikuti bentuk wadah zat cair atau gas dimasukkan ke dalam botol, maka bentuknya menyerupai botol. Karena mempunyai sifat tersebut, maka zat cair dan zat gas hanya mengalami muai volume saja.

Secara umum, pada pemuaian zat cair dan gas berlaku:

$$\beta = \Delta V / (V_o \cdot \Delta T)$$

Atau:

$$\Delta V = \beta \cdot (V_o \cdot \Delta T)$$

dengan  $\Delta V$  = pertambahan volume ( $m^3$ )

$$\Delta V = V_T - V_o$$

dan

$$V_T = V_o (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Pada pemuaian gas tidaklah sesederhana muai zat padat dan muai zat cair. Pada sistem gas juga hanya terdapat koefisien muai ruang saja.

Jadi pada hakekatnya, akibat kenaikan suhu di dalam gas tertentu akan terdapat perubahan volume dan tekanan.

Pada pembahasan yang berkaitan dengan sejumlah massa gas, ada hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- ? volume (V)
- ? tekanan (P)
- ? suhu (T)



Ketiga hal itu saling berkaitan, berhubungan dan dapat berubah-ubah. Adapun hubungan-hubungan yang dapat terjadi adalah sebagai berikut:

- ? Hubungan tekanan gas (P) dan volume gas (V) dengan suhu gas (T) tetap yang disebut proses *isotermis*. Hasil eksperimen *Robert Boyle* disimpulkan sebagai *hukum Boyle*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada suhu konstan, tekanan gas berbanding terbalik terhadap volume"*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{konstanta}}{V} \text{ atau } P \cdot V = \text{konstanta}$$

Sehingga berlaku:  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$

Dengan: P = tekanan gas (N/m<sup>2</sup>; pascal =Pa)

V = volume gas (m<sup>3</sup>)

- ? Hubungan volume gas (V) dan suhu gas (T) dengan tekanan gas (P) tetap yang disebut *proses isobaris*. Hasil eksperimen *Charles* disimpulkan sebagai *hukum Charles*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*"Pada tekanan konstan, volume gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya".*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C \cdot T \text{ atau } \frac{V}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Dengan: V = volume (m<sup>3</sup>)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

- ? Hubungan tekanan gas (P) dan suhu gas (T) dengan volume gas (V) tetap yang disebut *proses isokhoris atau isovolume*. Hasil eksperimen *Gay Lussac* disimpulkan sebagai *hukum Gay*

Lussac, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*Pada volume konstan, tekanan gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya.*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = C \cdot T \text{ atau } \frac{P}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

Dengan: P = tekanan (N/m<sup>2</sup>; pascal = Pa)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

- ? Hubungan tekanan gas (P), volume gas (V) dan suhu gas (T). Hasil eksperimen *Boyle, Gay Lussac dan Charles* disimpulkan sebagai *hukum Boyle- Gay Lussac*, yang diasumsikan bahwa tekanan dan suhu gas *sama* di setiap bagian gas tersebut. Hal ini berarti gas berada dalam keadaan *setimbang mekanis dan termis*. Jika perumusan Boyle, Gay Lussac dan Charles digabungkan maka diperoleh perumusan sebagai berikut:

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P \cdot V = C \cdot T \text{ atau } \frac{P \cdot V}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$

Dengan: P = tekanan (N/m<sup>2</sup>; pascal = Pa)

V = volume (m<sup>3</sup>)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

## 2. Kegiatan Belajar 2

### a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini diharapkan siswa dapat:

- ☞ Menjelaskan pengertian kalor dengan benar.
- ☞ Menjelaskan alat yang digunakan untuk mengukur kalor.
- ☞ Menjelaskan definisi satu kalori dengan benar.
- ☞ Menyebutkan satuan kalor yang lain dan konversinya.
- ☞ Menjelaskan pengertian kalor jenis suatu zat.
- ☞ Menjelaskan pengertian kapasitas kalor suatu zat.
- ☞ Menjelaskan azas Black beserta penerapannya.
- ☞ Menjelaskan perubahan wujud zat (melebur, membeku, menguap, mengembun, deposisi, melenyap/menyublim
- ☞ Menjelaskan diagram perubahan fase dan penerapannya.
- ☞ Menjelaskan panas peleburan atau kalor lebur.
- ☞ Menjelaskan panas penguapan atau kalor uap.
- ☞ Menjelaskan panas pengembunan.
- ☞ Menjelaskan panas pembekuan.
- ☞ Menjelaskan pengertian titik lebur dan titik beku.
- ☞ Menjelaskan titik didih dan titik pengembunan.
- ☞ Menjelaskan perbedaan perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi.

### b. Uraian Materi

#### 1) Pengertian kalor

Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Berarti kalor merupakan besaran fisika yang dapat diukur. Kegiatan pengukuran-pengukuran kalor (kalorimetri) dalam fisika, berkaitan dengan penentuan kalor jenis suatu zat. Alat yang digunakan untuk mengukur kalor disebut kalorimeter. Istilah kalor, pertama kali

diperkenalkan oleh seorang ahli kimia dari Perancis bernama *A.L.Lavoisier* (1743-1794). Kalor berasal dari kata *caloric*. Para ahli kimia dan fisika, semula menganggap bahwa kalor merupakan jenis zat alir yang tidak terlihat oleh manusia. Berdasarkan anggapan inilah, satuan kalor ditetapkan dengan nama *kalori* disingkat *kal*. Satu *kalori (kal)* didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 gram air sehingga suhunya naik 1°C.

Dari hasil pengukuran-pengukuran secara teliti oleh para ahli, anggapan bahwa kalor itu merupakan zat alir tidak dapat dipertahankan lagi kebenarannya. Para ahli menyimpulkan bahwa kalor sebenarnya merupakan *bentuk energi* sehingga satuan kalor yang tepat adalah sama dengan satuan energi, yaitu *joule* atau *J*. Akan tetapi dewasa ini banyak kalangan yang menggunakan kalori sebagai satuan kalor, misalkan di kalangan kesehatan.

Berikut ini adalah konversi satuan kalor dalam SI dengan satuan kalor yang lain:

$$1 \text{ joule} = 0,24 \text{ kalori} \text{ atau } 1 \text{ kal} = 4,2 \text{ joule}$$

Dalam sistem satuan imperial (Inggris), satuan kalor dinyatakan dalam *British Thermal Unit (BTU)*.  $1 \text{ BTU} = 1054 \text{ joule}$ ;  $1 \text{ BTU} = 252 \text{ kalori}$ .

"Kalori" yang digunakan oleh ahli gizi disebut "*kalori besar*" yang sebenarnya adalah satu kilo kalori ( $1 \text{ k kal}$ );  $1 \text{ k kal} = 1000 \text{ kalori}$ .

## 2) Kalor jenis dan kapasitas kalor

Jika 1 kg air dan 1kg minyak tanah masing-masing diberi kalor yang sama (misalnya  $Q$  joule). Minyak tanah ternyata mengalami perubahan suhu kira-kira dua kali perubahan suhu air. Hal ini menggambarkan bahwa antara zat yang satu dengan yang lainnya dapat mengalami perubahan yang berbeda, meskipun diberi kalor yang sama. Perbedaan kenaikan suhu tersebut, terjadi karena zat

yang satu dengan yang lain berbeda kalor jenisnya. *Kalor jenis suatu zat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan (Q) untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu (m) sebesar satu satuan suhu (?T).*

Dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$c = Q/(m \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (1)$$

Atau

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

Q= jumlah kalor (joule/kalori)

m= massa benda (kg atau gram)

$\Delta T$ = perubahan suhu (K atau  $^{\circ}C$ )

c = kalor jenis (J/kg.K atau kal/gram  $^{\circ}C$ )

Faktor *m*. *c* pada persamaan di atas diberi nama khusus yaitu *kapasitas kalor* dengan lambang *C*. Jadi,

$$C = m \cdot c \dots\dots\dots (3)$$

*Kapasitas kalor (C) dapat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan (Q) untuk mengubah suhu benda sebesar satu satuan suhu (?T).*

Sehingga dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$m \cdot c = Q/\Delta T \dots\dots\dots (4)$$

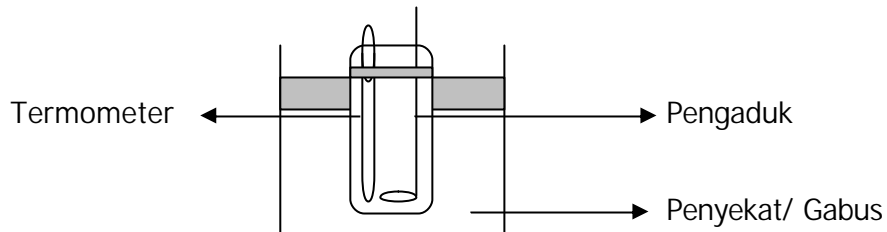
atau

$$C = Q/\Delta T \dots\dots\dots (5)$$

### 3) Kalorimeter Sebagai Alat Pengukur Kuantitas Panas

*Kalorimeter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuantitas panas/kalor, menentukan kapasitas panas, dan panas jenis suatu zat. Kalorimeter ber dinding ganda terdiri atas bejana logam ber dinding tipis A permukaan luarnya diberi lapisan nikel untuk mengurangi kehilangan panas karena radiasi. Bejana ini mempunyai harga air/kapasitas panas air yang sudah diketahui

dan mempunyai tutup yang berlubang untuk tempat termometer B dan alat pengaduk C. Gambar skematis kalorimeter dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Kemungkinan kehilangan panas dapat dikurangi lagi dengan meletakkan calorimeter dalam bejana lain D yang terbuat dari penyekat panas E. Untuk menentukan jumlah kalor  $Q$  yang diberikan dalam kalorimeter, dengan cara membaca perubahan suhu yang ditunjukkan oleh termometer sebelum dan sesudah diberi kalor. Besarnya harga  $Q$  diketahui berdasarkan kenaikan suhu yang terjadi. Prinsip kerja kalorimeter didasarkan pengamatan Josep Black (1720-1799), seorang ilmuwan Inggris yang dikenal dengan *Azas Black* yang dinyatakan sebagai berikut:

✎ Jika dua benda yang mempunyai suhu berbeda didekatkan sehingga terjadi kontak termis, maka zat yang suhunya lebih tinggi akan melepaskan kalor yang sama banyaknya dengan kalor yang diserap oleh zat yang suhunya lebih rendah sehingga suhu akhir kedua benda setelah kesetimbangan termis tercapai adalah *sama*.

✎ Jumlah kalor yang diterima = jumlah kalor yang diberikan

$$Q_{\text{terima}} = Q_{\text{lepas}} \dots\dots\dots (6)$$

Azas black ini merupakan bentuk lain dari *perumusan hukum kekekalan energi*. Untuk menentukan *panas jenis* suatu bahan dengan menggunakan kalorimeter adalah sebagai berikut:

? Sepotong bahan yang akan dicari panas jenisnya ( $c_b$ ) ditimbang massanya, misalnya  $m_b$  kemudian dipanaskan di dalam tungku atau di dalam uap air sampai suhu tertentu, misalnya  $t_b$ .

- ? Menimbang massa kalorimeter kosong ( $m_k$ ), memasukkan air ke dalam kalorimeter kemudian ditimbang massanya ( $m_{k+a}$ ), sehingga massa air dapat diketahui yaitu  $m_a = (m_{k+a}) - m_k$ .
- ? Air di dalam kalorimeter diaduk pelan-pelan dan diukur suhunya, misalnya  $t_1$ .
- ? Potongan bahan yang akan ditentukan panas jenisnya setelah dipanaskan dimasukkan ke dalam kalorimeter dengan cepat lalu diaduk dan suhunya dicatat, misalnya  $t_2$ .
- ? Jika panas jenis kalorimeter dan air diketahui masing-masing  $c_k$  dan  $c_a$  serta selama percobaan tidak ada panas yang hilang dari kalorimeter, maka berdasarkan azas Black:

Panas yang dilepaskan = panas yang diterima

$$m_b c_b (t_b - t_2) = m_k c_k (t_2 - t_1) + m_a c_a (t_2 - t_1)$$

- ? Karena  $c_a = 1 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$  maka:

$$m_b c_b (t_b - t_2) = (m_k c_k + m_a) (t_2 - t_1)$$

Dengan demikian:

$$c_b = \frac{(m_k c_k + m_a) (t_2 - t_1)}{m_b (t_b - t_2)} \dots \dots \dots (7)$$

### Article I.

**Tabel 1:** Koefisien Volume Beberapa Zat

No	Zat	Kalor Jenis	
		kkal/kg <sup>o</sup> C	10 <sup>2</sup> x J/kg K
1	Air	1,00	41,9
2	Gliserin	0,58	24
3	Alkohol	0,55	23
4	Minyak tanah	0,52	22
5	Alumunium	0,21	8,8
6	Kaca	0,16	6,7
7	Besi	0,11	4,6
8	Seng/tembaga	0,093	3,9
9	Kuningan	0,090	3,8
10	Perak	0,056	2,34
11	Air raksal	0,033	1,38
12	Emas/timbal	0,031	1,3

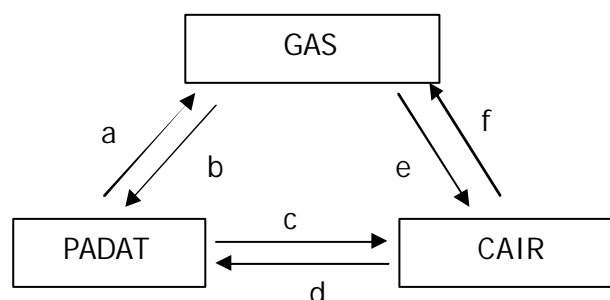
Dari tabel di atas terlihat bahwa air memiliki kalor jenis terbesar dibandingkan zat-zat lain. Hal ini berarti air memerlukan kalor lebih banyak daripada zat lain untuk massa dan kenaikan suhu yang sama. Air juga melepaskan kalor yang lebih banyak dibanding zat lain bila suhunya diturunkan.

#### 4) Kalor Pada Perubahan Wujud Zat

Sebagaimana telah diketahui bahwa zat dapat mempunyai beberapa tingkat wujud yaitu padat, cair, dan gas. Air dapat berubah bentuk dalam tiga wujud, yaitu di bawah suhu  $0^{\circ}\text{C}$  berwujud padat atau es, antara  $0^{\circ}\text{C}$  dan  $100^{\circ}\text{C}$  berwujud cair atau air, dan di atas  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan atmosfer berwujud gas atau uap air. Dalam perubahan dari wujud yang satu ke wujud yang lain disertai *penyerapan kalor* atau *pelepasan kalor* dan biasanya diikuti perubahan volume. Perubahan wujud zat itu disebut juga *perubahan fase*. Perubahan dari fase tertentu ke fase yang lain, masing-masing dapat diuraikan sebagai berikut:

- ? perubahan dari fase padat ke cair disebut *melebur*,
- ? perubahan dari fase cair ke padat disebut *membeku*,
- ? perubahan dari fase cair ke gas disebut *menguap*,
- ? perubahan dari fase gas ke cair disebut *mengembun*,
- ? perubahan dari fase gas ke padat disebut *deposisi*,
- ? perubahan dari fase padat ke gas disebut *melenyap/menyublim*.

Perubahan wujud/fase di atas dapat digambarkan seperti berikut:





Keterangan gambar:

a = menyublim

b = deposisi

c = mencair

d = membeku

e = mengembun

f = menguap

Apakah semua zat dapat mengalami ketiga wujud tersebut?. Kita tahu bahwa air sangat mudah mengalami ketiga wujud ini. Wujud cairnya disebut air, wujud padatnya disebut es, dan wujud uapnya disebut uap air. Tetapi kita tahu bahwa sebuah balok kayu tidak melebur bila dipanaskan, kapur barus (kamper) langsung menguap saat suhunya berubah. Dari contoh tersebut berarti *tidak setiap zat* dapat mengalami ketiga wujud tersebut.

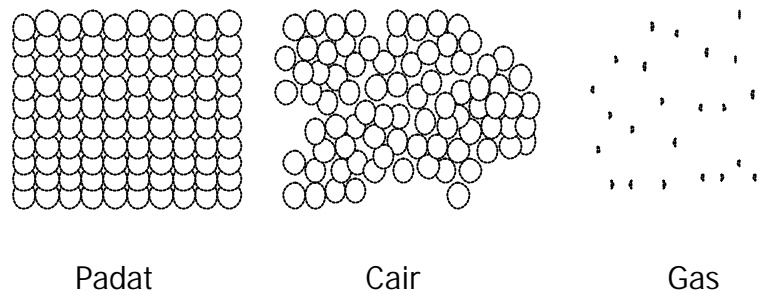
Keadaan suatu benda secara umum sangat bergantung pada suhu benda tersebut. Benda dapat berada dalam fase padat, cair, atau gas, bahkan hanya berada pada fase gas jika suhu tinggi dan tekanan rendah sedangkan pada suhu rendah dan tekanan tinggi, gas berubah ke fase cair atau padat. Pada tingkat padat, partikel-partikel di dalamnya teratur dengan amat tertib. Partikel-partikel itu bergetar di sekitar titik kesetimbangan masing-masing, tetapi tidak ada yang berpindah. Dalam zat cair dianggap partikel-partikel zat cair mudah berpindah-pindah, tempat partikel tidak teratur.

Rata-rata jarak antar partikel dalam zat cair ini kira-kira sama dengan jarak antar partikel dalam zat padat. Zat cair mudah berpindah sehingga secara keseluruhan zat cair tidak dapat mempertahankan bentuknya. Zat cair mudah menyesuaikan diri dengan bentuk wadah yang ditempatinya. Pada tingkat gas, partikel-partikel gas senantiasa bergerak ke semua arah. Jarak antar partikel sangat besar jika dibandingkan dengan ukuran

partikel. Gaya antar partikel gas sangat lemah kecuali ketika partikel bertubrukan.

Dalam gas ideal, gaya antar partikel itu diabaikan, sebab itu gas mudah mengisi ruang yang tersedia untuknya. Sebagai contoh, setetes minyak wangi dalam kamar akan menguap mengharumkan seluruh ruang kamar. Sebelum menguap volume setetes minyak wangi relatif kecil yaitu volume setetes saja, sesudah menguap seluruh ruang kamar itulah volume minyak wangi.

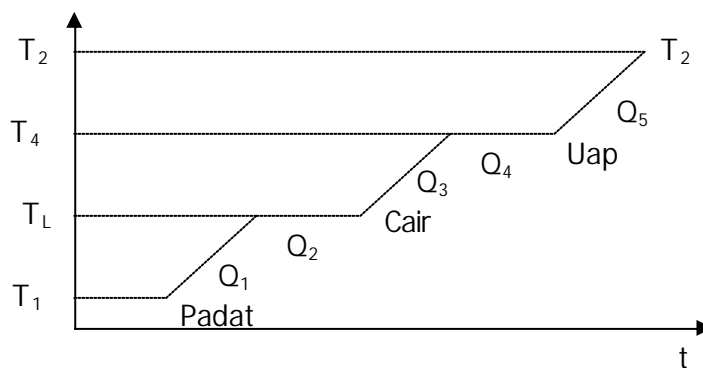
Ketiga wujud zat tersebut diilustrasikan pada gambar berikut:



### 5) Diagram Perubahan Fase

Pada uraian ini akan ditinjau suatu benda dalam keadaan padat dengan suhu  $T_1$  akan diubah menjadi fase gas dengan suhu  $T_2$ .

Proses perubahan benda dari fase padat ke fase gas dapat dijelaskan dengan skema diagram perubahan fase sebagai berikut:



Pada awalnya suhu benda dapat dinaikkan sampai mencapai suhu leburnya  $T_L$  dengan menambahkan sejumlah panas  $Q_1$ , setelah mencapai suhu  $T_L$  terus ditambahkan panas  $Q_2$  sehingga benda melebur pada suhu  $T_L$ . Setelah benda berubah wujud menjadi cair kemudian suhunya dinaikkan hingga  $T_U$  dengan menambahkan panas sejumlah  $Q_3$ . Pada kondisi ini ditambahkan panas sejumlah  $Q_4$  sehingga benda berubah wujud menjadi uap pada suhu  $T_U$ . Setelah kondisi uap tercapai, suhu dinaikkan sampai mencapai suhu  $T_2$  dengan menambahkan panas sejumlah  $Q_5$ . Dari keseluruhan proses tersebut dapat diketahui jumlah panas yang diperlukan selama proses perubahan wujud/fase berlangsung.

Kuantitas panas atau jumlah panas per satuan massa yang harus diberikan pada suatu bahan pada titik leburnya supaya menjadi zat cair seluruhnya pada suhu titik lebur disebut *panas peleburan* atau *kalor lebur*.

Kuantitas panas atau jumlah panas per satuan massa yang harus diberikan pada suatu bahan pada titik didihnya supaya menjadi gas seluruhnya pada suhu titik didih disebut *panas penguapan* atau *kalor uap*.

Bila panas dikeluarkan dari suatu gas, maka akan mengalami penurunan suhu dan pada suhu mendidihnya gas ini kembali ke fase cair, atau dikatakan gas itu mengembun. Saat mengembun, gas melepaskan panas ke sekelilingnya sebesar jumlah yang sama dengan kuantitas panas yang diperlukan untuk menguapkannya. Panas yang lepas persatuan massa disebut *panas pengembunan* atau mempunyai harga yang *sama dengan* panas penguapan (kalor uap). Apabila zat cair didinginkan maka akan kembali ke fase padat atau membeku dan akan melepaskan panas yang disebut *panas pembekuan* dan mempunyai harga yang *sama dengan* panas peleburan. Jadi titik lebur dan titik beku berada pada suhu yang sama, juga titik didih dan titik pengembunan berada pada suhu

yang sama.

**Tabel 2:** Panas Peleburan dan Panas Penguapan

No	Zat	Titik Lebur Normal		Panas Peleburan (kal/g)	Titik Didih Normal		Panas Penguapan (kal/g)
		°C	K		°C	K	
1	Air	0,00	273,15	79,7	100,00	373,15	539
2	Antimon	630,50	903,65	39,7	1440	1713	134
3	Belerang	119	392	9,1	444,60	717,75	78
4	Emas	1063,00	1336,15	15,4	2660	2933	377
5	Etil-alkohol	- 114	159	24,9	78	351	204
6	Helium	-269,65	3,5	1,25	-268,93	4,216	5
7	Hidrogen	-259,31	13,84	14	-252,89	20,26	108
8	Nitrogen	-209,97	63,18	6,09	-195,81	77,34	48
9	Oksigen	-218,79	54,36	3,30	-182,97	90,18	51
10	Perak	960,80	1233,95	21,1	2193	2466	558
11	Raksa	-39	234	2,82	357	630	65
12	Tembaga	1083	1356	32	1187	1460	1211
13	Timbal	5,86	327,3	5,86	1750	2023	208

Suatu zat pada titik leburnya akan membeku atau melebur bergantung pada panas yang ditambahkan atau dikeluarkan. Panas yang diberikan pada suatu benda biasanya akan menyebabkan suhu benda naik, walaupun itu tidak selalu demikian. Dikenal 2 (dua) jenis panas yaitu *panas sensibel* dan *panas laten*. *Panas sensibel* adalah panas yang diberikan/dikeluarkan benda apabila terjadi perubahan suhu. Selama perubahan wujud/fase, *suhu zat tidak berubah*, panas/kalor yang diterima atau dilepaskan oleh zat tidak digunakan untuk menaikkan suhu tetapi digunakan untuk mengubah wujud. Kalor yang digunakan untuk mengubah wujud ini seakan-akan tersembunyi, karena itu kalor ini disebut *kalor laten* (laten artinya tersembunyi).

*Kalor laten adalah kalor yang diperlukan oleh 1 kg zat untuk berubah wujud dari satu wujud ke wujud lainnya.* Dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$L = Q/m \dots\dots\dots (7)$$

Atau

$$Q = m \cdot L \dots\dots\dots (8)$$

dengan:

$Q$  = kalor (joule/kalori)

$m$  = massa zat (kg atau gram)

$L$  = kalor laten (J/kg)

Dengan adanya beberapa macam perubahan wujud zat, maka muncul istilah kalor laten khusus untuk suatu perubahan wujud tertentu, yaitu sebagai berikut:

- ? Kalor laten lebur atau *kalor lebur* adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1 kg zat dari wujud padat menjadi cair pada titik leburnya.
- ? Kalor laten beku atau *kalor beku* adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi padat pada titik bekunya.

Dengan demikian:

<b>Kalor lebur</b>	<b>=</b>	<b>kalor beku</b>
<b>Titik lebur</b>	<b>=</b>	<b>titik beku</b>

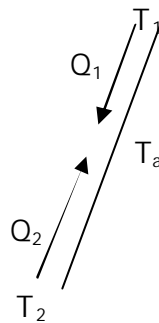
- ? Kalor laten didih atau *kalor didih* adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi uap pada titik didihnya.
- ? Kalor laten embun atau *kalor embun* adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud uap menjadi cair pada titik embunnya.

Dengan demikian:

<b>Kalor didih</b>	<b>=</b>	<b>kalor embun</b>
<b>Titik didih</b>	<b>=</b>	<b>titik embun</b>

Akan ditinjau dua sistem yang berbeda dengan suhu awal  $T_1$  dan  $T_2$  dengan  $T_1 > T_2$ . Jika dua sistem dihubungkan maka akan

terjadi perpindahan panas sampai tercapai keadaan setimbang dengan anggapan tidak ada panas yang hilang/keluar dari sistem. Dalam keadaan setimbang, kedua sistem mempunyai suhu yang sama yaitu  $T_a$  yang disebut *suhu akhir*. Bentuk diagram yang paling sederhana dari proses ini adalah sebagai berikut:



Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sistem pertama mengalami *penurunan suhu*, berarti sistem ini *melepaskan panas*  $Q_1$ , sedangkan sistem kedua mengalami *kenaikan suhu* yang berarti sistem tersebut *menerima panas*  $Q_2$ . Dalam keadaan ini berlaku asas Black: *panas yang dilepaskan sama dengan panas yang diterima* atau dapat dituliskan secara matematik sebagai berikut:

$$Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots (8)$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_a) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_a - T_2) \dots\dots\dots (9)$$

Dari persamaan (9) dapat ditentukan besaran yang dicari.

## 6) Perpindahan Kalor

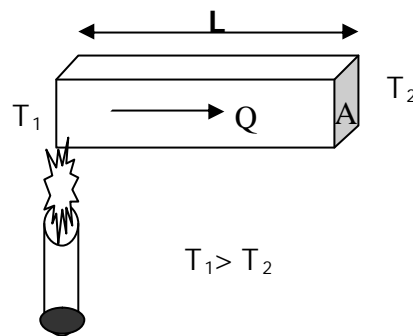
Kalor dapat berpindah dari tempat atau benda yang suhunya tinggi ke tempat atau benda yang bersuhu rendah.

Ada tiga cara perpindahan kalor yang diketahui yaitu:

- ? cara konduksi (hantaran),
- ? cara konveksi (aliran),
- ? cara radiasi (pancaran).

### Konduksi (hantaran)

Sepotong logam yang dipanaskan salah satu ujungnya, ternyata beberapa saat kemudian ujung yang lain akan menjadi panas juga. Kalor merambat melalui batang logam tanpa ada bagian-bagian logam yang pindah bersama kalor itu. Perpindahan kalor tanpa disertai perpindahan partikel zat seperti ini disebut konduksi perhatikan gambar di bawah ini.



Jika panjang batang =  $L$ , luas penampangnya =  $A$  dan selisih suhu kedua ujungnya =  $\Delta T$ , maka jumlah kalor yang mengalir tiap satu satuan waktu dapat dirumuskan:

$$H = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (10)$$

dengan:

- H =  $Q/t$  = jumlah kalor yang mengalir tiap satu satuan waktu.
- K = koefisien konduksi termal (daya hantar panas).
- A = luas penampang.
- $\Delta T$  = selisih temperatur antara kedua ujung batang.
- L = panjang batang (atau tebal untuk benda yang berbentuk pelat).

**Tabel 3:** Koefisien Konduksi (Konduktivitas) Termal Beberapa Zat

No	Zat/Bahan	k (kJ/msK)
	<b>Logam</b>	
1	Perak	$4,2 \times 10^{-1}$
2	Tembaga	$3,8 \times 10^{-1}$
3	Aluminium	$2,1 \times 10^{-1}$
4	Kuningan	$1,0 \times 10^{-2}$
5	Besi/baja	$4,6 \times 10^{-3}$
	<b>Zat Padat Lain</b>	
1	Beton	$1,7 \times 10^{-3}$
2	Kaca	$8,0 \times 10^{-4}$
3	Batu bata	$7,1 \times 10^{-4}$
4	Kayu cemara	$1,2 \times 10^{-4}$
	<b>Zat Cair</b>	
1	Air	$5,7 \times 10^{-4}$
	<b>Bahan Isolator</b>	
1	Serbuk gergajian	$5,9 \times 10^{-5}$
2	Gabus	$4,0 \times 10^{-5}$
3	Wol gelas	$3,9 \times 10^{-5}$
4	Kapuk	$3,5 \times 10^{-5}$
	<b>Gas</b>	
1	Hidrogen	$1,7 \times 10^{-4}$
2	Udara	$2,3 \times 10^{-4}$

Konduksi kalor dapat dipandang sebagai akibat perpindahan energi kinetik dari satu partikel ke partikel yang lain melalui tumbukan.

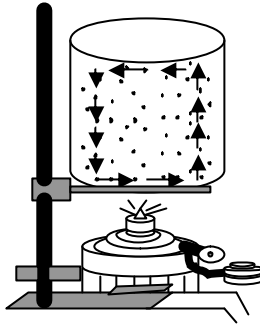
Pada bahan logam, terdapat elektron bergerak bebas. Elektron-elektron ini berperan juga di dalam merambatkan energi kalor, karena itu bahan logam menjadi penghantar kalor yang sangat baik, dan disebut konduktor.

### **Konveksi (aliran)**

Istilah konveksi dapat digunakan untuk pemindahan kalor melalui fluida (cair dan gas). Pada konveksi, kalor berpindah bersama-sama dengan perpindahan partikel zat.

Contoh sederhana dapat kita jumpai pada waktu kita merebus (memanaskan air). Perhatikan gambar dibawah ini.





Bagian air yang ada di bawah, menerima panas dari nyala api pemanas. Air yang terkena api itu memuai dan massa jenisnya menjadi kecil. Karena massa jenisnya kecil, bagian air ini naik dan tempatnya digantikan oleh air yang masih dingin yang massa jenisnya lebih besar. Bagian air yang dingin ini mendapatkan panas pula, lalu naik seperti bagian air yang sebelumnya. Demikian seterusnya, air berpindah (mengalir) sambil membawa kalor.

Jumlah kalor yang mengalir tiap satuan waktu dapat dirumuskan:

$$H = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

H	=	jumlah kalor yang mengalir tiap satuan waktu
A	=	luas permukaan
$\Delta T$	=	perbedaan suhu
h	=	koefisien konveksi

**Radiasi (pancaran)**

Perpindahan kalor secara radiasi adalah perpindahan kalor tanpa memerlukan medium (zat antara). Misalnya, perpindahan panas dari matahari ke bumi. Walaupun matahari jauh dari bumi dan bagian terbesar di antaranya hampa, energi matahari juga tiba di bumi dan diserap sebagai kalor. Besarnya energi yang dipancarkan tiap satuan luas dan tiap satuan waktu, oleh Josep Stefan (1835-1893) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = e \cdot s \cdot T^4 \dots\dots\dots (12)$$

dengan:

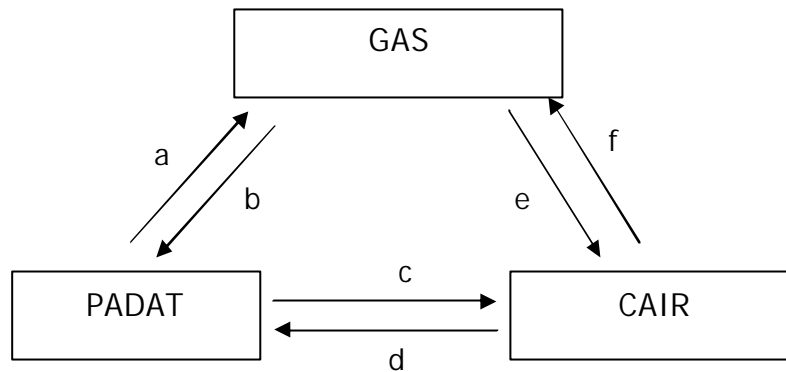
- E = emisivitas benda ( $0 < e < 1$ ).
- T = suhu permukaan benda (dalam kelvin).
- s = konstanta Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8}$  watt/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>).
- W = energi yang dipancarkan tiap satuan luas dalam satu satuan waktu (J/s).

Emisivitas benda ( $e$ ) merupakan besaran yang bergantung pada sifat permukaan benda. Benda hitam sempurna (*black body*) mempunyai  $e=1$ . Benda ini merupakan *pemancar* dan *penyerap* kalor yang baik.

### c. Rangkuman

1. Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Berarti kalor merupakan besaran fisika yang dapat diukur.
2. Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kalor.
3. Satu kalori (kal) didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 gram air sehingga suhunya naik 1°C.
4. Kalori, Joule, BTU, Kkal, merupakan satuan-satuan kalor.
5. Kalor jenis suatu zat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan (Q) untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu (m) sebesar satu satuan suhu (?T).
6. Kapasitas kalor (C) satuan zat dapat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan (Q) untuk mengubah suhu benda sebesar satu satuan suhu (?T).
7. Jika dua benda yang mempunyai suhu berbeda didekatkan sehingga terjadi kontak termis, maka zat yang suhunya lebih tinggi akan melepaskan kalor yang sama banyaknya dengan kalor yang diserap oleh zat yang suhunya lebih rendah sehingga suhu akhir kedua benda setelah kesetimbangan termis tercapai adalah *sama*.

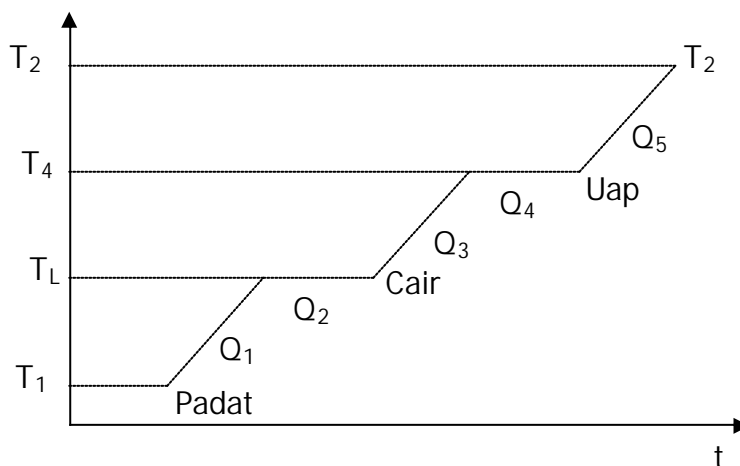
8. Perubahan wujud/fase dari ketiga wujud zat.



Keterangan gambar:

- a = Menyublim.
- b = Deposisi.
- c = Mencair.
- d = Membeku.
- e = Mengembun.
- f = Menguap.

9. Diagram perubahan wujud.



10. Kuantitas panas atau jumlah panas per satuan massa yang harus diberikan pada suatu bahan pada titik leburnya supaya menjadi zat cair seluruhnya pada suhu titik lebur disebut *panas peleburan* atau *kalor lebur*.

11. Kuantitas panas atau jumlah panas persatuan massa yang harus diberikan pada suatu bahan pada titik didihnya supaya menjadi gas seluruhnya pada suhu titik didih disebut *panas penguapan* atau *kalor uap*.
12. Panas yang lepas per satuan massa disebut *panas pengembunan* atau mempunyai harga yang *sama dengan* panas penguapan (kalor uap).
13. Apabila zat cair didinginkan maka akan kembali ke fase padat atau membeku dan akan melepaskan panas yang disebut *panas pembekuan* dan mempunyai harga yang *sama dengan* panas peleburan.
14. Kalor laten lebur atau *kalor lebur* adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1 kg zat dari wujud padat menjadi cair pada titik lebur. Kalor laten beku atau *kalor beku* adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi padat pada titik bekunya.
15. Kalor laten didih atau *kalor didih* adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi uap pada titik didihnya. Kalor laten embun atau *kalor embun* adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud uap menjadi cair pada titik embunnya.
16. Perpindahan kalor tanpa disertai perpindahan partikel zat disebut konduksi.  
Konveksi adalah perpindahan kalor yang diikuti oleh perpindahan partikel-partikel zat tersebut. Perpindahan ini biasanya terjadi pada zat cair dan gas.  
Perpindahan kalor secara radiasi adalah perpindahan kalor tanpa memerlukan medium (zat antara). Misalnya, perpindahan panas dari matahari ke bumi.

#### **d. Tugas**

Bacalah uraian materi berulang-ulang sampai anda memahami rumus-rumus yang digunakan, kemudian kerjakan tes formatif. Bila anda kesulitan mengerjakan tes formatif, maka pelajailah lagi uraian materi di atas sampai anda bisa mengerjakan tes formatif.

#### **e. Tes Formatif**

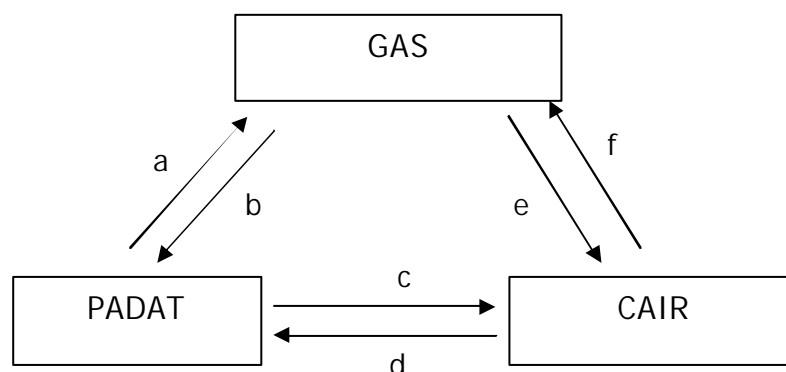
1. Jelaskan pengertian kalor dengan benar.
2. Jelaskan alat yang digunakan untuk mengukur kalor.
3. Jelaskan definisi satu kalori dengan benar.
4. Sebutkan satuan kalor yang lain dan konversinya.
5. Jelaskan pengertian kalor jenis suatu zat.
6. Jelaskan pengertian kapasitas kalor suatu zat.
7. Jelaskan azas Black beserta penerapannya.
8. Jelaskan perubahan wujud zat (melebur, membeku, menguap, mengembun, deposisi, melenyap/menyublim).
9. Jelaskan diagram perubahan fase dan penerapannya.
10. Jelaskan panas peleburan atau kalor lebur.
11. Jelaskan panas penguapan atau kalor uap.
12. Jelaskan pengertian panas pengembunan.
13. Jelaskan pengertian panas pembekuan.
14. Jelaskan pengertian titik lebur dan titik beku.
15. Jelaskan pengertian titik didih dan titik pengembunan.
16. Jelaskan perbedaan perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi.

#### **f. Kunci Jawaban**

1. Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Berarti kalor merupakan besaran fisika yang dapat diukur.
2. Kalorimeter.

3. Satu kalori (kal) didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 gram air sehingga suhunya naik  $1^{\circ}\text{C}$ .
4. Kalori, Joule, BTU, Kkal.
5. Kalor jenis suatu zat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan ( $Q$ ) untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu ( $m$ ) sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ).
6. Kapasitas kalor ( $C$ ) suatu zat dapat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan ( $Q$ ) untuk mengubah suhu benda sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ).
7. Jika dua benda yang mempunyai suhu berbeda didekatkan sehingga terjadi kontak termis, maka zat yang suhunya lebih tinggi akan melepaskan kalor yang sama banyaknya dengan kalor yang diserap oleh zat yang suhunya lebih rendah sehingga suhu akhir kedua benda setelah kesetimbangan termis tercapai adalah *sama*.
8. Zat dapat mempunyai beberapa tingkat wujud yaitu padat, cair, dan gas. Air dapat berubah bentuk dalam tiga wujud, yaitu di bawah suhu  $0^{\circ}\text{C}$  berwujud padat atau es, antara  $0^{\circ}\text{C}$  dan  $100^{\circ}\text{C}$  berwujud cair atau air, dan di atas  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan atmosfer berwujud gas atau uap air.

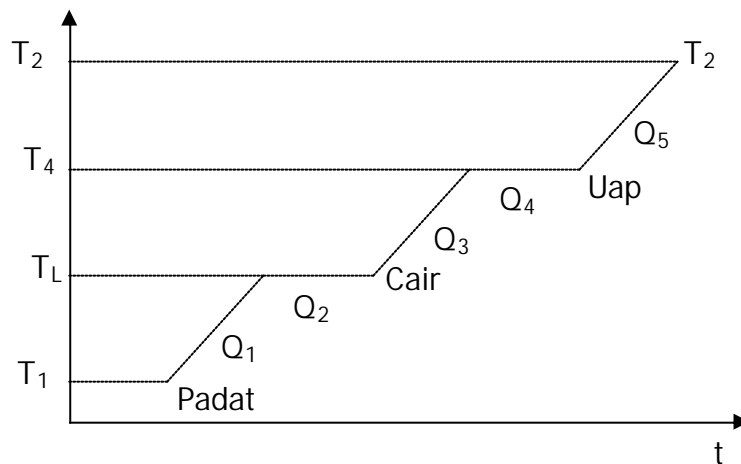
Dalam perubahan dari wujud yang satu ke wujud yang lain disertai *penyerapan kalor* atau *pelepasan kalor* dan biasanya diikuti perubahan volume. Perubahan wujud zat itu disebut juga *perubahan fase*. Perubahan wujud/fase dari ketiga wujud zat.



Keterangan gambar:

- a = Menyublim.
- b = Deposisi.
- c = Mencair.
- d = Membeku.
- e = Mengembun.
- f = Menguap.

9. Diagram perubahan wujud.



Pada awalnya suhu benda dapat dinaikkan sampai mencapai suhu leburnya  $T_L$  dengan menambahkan sejumlah panas  $Q_1$ , setelah mencapai suhu  $T_L$  terus ditambahkan panas  $Q_2$  sehingga benda melebur pada suhu  $T_L$ . Setelah benda berubah wujud menjadi cair kemudian suhunya dinaikkan hingga  $T_U$  dengan menambahkan panas sejumlah  $Q_3$ . Pada kondisi ini ditambahkan panas sejumlah  $Q_4$  sehingga benda berubah wujud menjadi uap pada suhu  $T_U$ . Setelah kondisi uap tercapai, suhu dinaikkan sampai mencapai suhu  $T_2$  dengan menambahkan panas sejumlah  $Q_5$ . Dari keseluruhan proses tersebut dapat diketahui jumlah panas yang diperlukan selama proses perubahan wujud/fase berlangsung.

10. Kuantitas panas atau jumlah panas per satuan massa yang harus diberikan pada suatu bahan pada titik leburnya supaya menjadi zat

cair seluruhnya pada suhu titik lebur disebut *panas peleburan* atau *kalor lebur*.

11. Kuantitas panas atau jumlah panas per satuan massa yang harus diberikan pada suatu bahan pada titik didihnya supaya menjadi gas seluruhnya pada suhu titik didih disebut *panas penguapan* atau *kalor uap*.
12. Apabila panas dikeluarkan dari suatu gas, maka akan mengalami penurunan suhu dan pada suhu mendidihnya gas ini kembali ke fase cair, atau dikatakan gas itu mengembun. Saat mengembun, gas melepaskan panas ke sekelilingnya sebesar jumlah yang sama dengan kuantitas panas yang diperlukan untuk menguapkannya. Panas yang lepas persatuan massa disebut *panas pengembunan* atau mempunyai harga yang *sama dengan* panas penguapan (kalor uap).
13. Apabila zat cair didinginkan maka akan kembali ke fase padat atau membeku dan akan melepaskan panas yang disebut *panas pembekuan* dan mempunyai harga yang *sama dengan* panas peleburan.
14. Kalor laten lebur atau *kalor lebur* adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1 kg zat dari wujud padat menjadi cair pada titik lebur. Kalor laten beku atau *kalor beku* adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi padat pada titik bekunya.
15. Kalor laten didih atau *kalor didih* adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi uap pada titik didihnya. Kalor laten embun atau *kalor embun* adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud uap menjadi cair pada titik embunnya.
16. Perpindahan kalor tanpa disertai perpindahan partikel zat seperti ini disebut konduksi.



Konveksi adalah perpindahan kalor yang diikuti oleh perpindahan partikel-partikel zat tersebut. Perpindahan ini biasanya terjadi pada zat cair dan gas.

Perpindahan kalor secara radiasi adalah perpindahan kalor tanpa memerlukan medium (zat antara). Misalnya, perpindahan panas dari matahari ke bumi.

# BAB III. EVALUASI

---

## A. TES TERTULIS

**Jawablah pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!**

1. Jelaskan tentang kesetimbangan termal suatu sistem!
2. Jelaskan hukum ke-nol termodinamika/hukum kesetimbangan termal!
3. Jelaskan penentuan skala suhu dibatasi pada penetapan dua titik tetap!
4. Jelaskan minimal tujuh contoh besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu!
5. Jelaskan sifat termometrik dengan benar disertai contoh
6. Jelaskan prinsip kerja lima macam termometer disertai contoh dengan benar!.
7. Jelaskan konsep pemuaian/ekspansi temperatur dengan benar!
8. Jelaskan muai volume gas berkaitan dengan hukum Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle-Gay Lussac.
9. Jelaskan pengertian kalor dengan benar.
10. Jelaskan definisi satu kalori dengan benar.
11. Jelaskan pengertian kalor jenis suatu zat.
12. Jelaskan azas Black beserta penerapannya.
13. mengembun, deposisi, melenyap/menyublim.

## B. TES PRAKTIK

### 1. Rumusan Masalah

Bagaimana menentukan skala pada termometer?.

### 2. Alat dan Bahan :

- ? Termometer tak berskala
- ? Termometer standar
- ? Kompor listrik
- ? Es dan air murni
- ? Gelas kimia
- ? Bejana pemanas dan penutupnya
- ? Kasa
- ? Statif
- ? Benang
- ? Kertas millimeter

### 3. Langkah-langkah :

- 1) Termometer tak berskala digantungkan dan dimasukkan dalam corong dan disela-selanya ditumbuni dengan potongan-potongan es. Dibiarkan beberapa saat sehingga es melebur dan tampak dibagian bawah corong menetes air. Selanjutnya tempat berhentinya air raksa tersebut diberi tanda dengan benang atau spidol dan tempat ini disebut dengan titik tetap bawah (titik  $0^{\circ}\text{C}$ ). Untuk menentukan skala tetap atas (titik  $100^{\circ}\text{C}$ ) dengan mendidihkan air dalam kaleng dengan menggunakan kompor. Memasukkan termometer tak berskala melalui lubang tutupnya dan dibiarkan beberapa saat didalam kaleng sampai air raksa dalam termometer tidak berubah kemudian memberinya tanda spidol atau benang.
- 2) Dengan menggunakan kertas millimeter dan batas-batas yang telah diperoleh dari percobaan dibuat skala termometer untuk rentang  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $100^{\circ}\text{C}$ .

- 3) Membandingkan skala yang telah diperoleh dari percobaan tadi dengan skala termometer standar. Kemudian menggunakan kedua termometer untuk mengukur suhu suatu benda secara bersama-sama.

Tabel Pengamatan

Perc. ke	Termometer standar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Pada skala mm	Suhu pada skala yang dibuat
1			
2			
3			
4			
5			
6			
.....			

# KUNCI JAWABAN

---

## A. KUNCI JAWABAN TES TERTULIS

1. Kesetimbangan termal adalah suatu keadaan dimana suhu antara dua benda atau lebih dalam keadaan sama atau tidak terjadi pertukaran kalor.
2. Jika sistem A setimbang dengan sistem B dan sistem A setimbang dengan sistem C, maka sistem B setimbang dengan sistem C.
3. Untuk menentukan skala suhu secara kuantitatif diperlukan suatu titik tetap. Sebelum tahun 1954, digunakan dua titik tetap yaitu titik uap (*steam point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap atas dan titik es (*ice point*) yang dinyatakan sebagai titik tetap bawah.
4. Beberapa besaran fisis yang berubah karena adanya perubahan suhu antara lain
  - ? perubahan panjang kolom cairan (L)
  - ? hambatan listrik pada kawat (R)
  - ? tekanan gas pada volume konstan (P)
  - ? volume gas pada tekanan konstan (V)
  - ? gaya gerak listrik (e)
  - ? intensitas cahaya (I)
5. Sifat termometrik (*thermometric property*) adalah besaran-besaran fisis yang berubah bila suhunya berubah. Contoh:
  - ? perubahan panjang kolom cairan (L)
  - ? hambatan listrik pada kawat (R)
  - ? tekanan gas pada volume konstan (P)
  - ? volume gas pada tekanan konstan (V)
  - ? gaya gerak listrik (e)
  - ? intensitas cahaya (I)

## 6. Termometer Zat Cair dalam Gelas

Prinsip kerja termometer jenis ini adalah berdasarkan pemuaian zat cair yang ada di dalam tabung kapiler pada termometer tersebut.

### Termometer Gas Volume Tetap

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan pemuaian zat gas pada termometer tersebut. Dan Pengukuran suhu pada thermometer gas volume tetap dirumuskan:

$$T(P) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{P}{P_{tr}}$$

### Pirometer

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan perubahan hambatan sebagai fungsi dari perubahan suhu. Pirometer ini khusus untuk mengukur suhu yang sangat tinggi, misalnya suhu cairan logam di pabrik pengelolaan logam. Di dunia industri, selain pirometer hambatan, dikenal juga yang disebut pirometer optik (optical pyrometer). Dan pengukuran suhu pada pirometer optik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(I) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{I}{I_t}$$

### Termokopel

Prinsip kerja termometer ini adalah berdasarkan perubahan gaya gerak listrik (ggl) sebagai fungsi dari perubahan suhu. Besarnya ggl yang terjadi dimanfaatkan untuk pengukuran suhu. Dan pengukuran suhu pada termokopel dirumuskan sebagai berikut:

$$T(e) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{e}{e_{tr}}$$

### Termometer Hambatan Listrik

Prinsip kerja termometer ini adalah dengan cara menempelkan termometer pada permukaan zat yang suhunya akan diukur atau

diletakkan dalam lubang yang digurdi untuk maksud itu. Biasanya hambatan diukur dengan mempertahankan arus tetap yang besarnya diketahui dalam termometer itu dan mengukur beda potensial kedua ujung hambatan dengan pertolongan potensiometer yang sangat peka. Dan pengukuran suhu pada termometer hambatan listrik dirumuskan sebagai berikut:

$$T(R) = 273,16 \text{ K} \cdot \frac{R}{R_t}$$

7. Pemuai adalah perubahan ukuran suatu benda akibat perubahan suhu yang terjadi pada benda tersebut. Hal ini disebabkan adanya gerak partikel yang terjadi di dalam zat yang saling bertumbukkan.

8. Pemuai zat cair dan gas

Zat cair atau gas selalu mengikuti bentuk wadah zat cair atau gas dimasukkan ke dalam botol, maka bentuknya menyerupai botol. Karena mempunyai sifat tersebut, maka zat cair dan zat gas hanya mengalami muai volume saja.

Secara umum, pada pemuai zat cair dan gas berlaku:

$$\Delta V = \alpha V_0 \Delta T$$

Atau:

$$\Delta V = \alpha \cdot (V_0 \cdot \Delta T)$$

dengan  $\Delta V$  = pertambahan volume ( $\text{m}^3$ )

$$\Delta V = V_T - V_0$$

dan

$$V_T = V_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Pada pemuai gas tidaklah sesederhana muai zat padat dan muai zat cair. Pada sistem gas juga hanya terdapat koefisien muai ruang saja.

Jadi pada hakekatnya, akibat kenaikan suhu di dalam gas tertentu akan terdapat perubahan volume dan tekanan.

Pada pembahasan yang berkaitan dengan sejumlah massa gas, ada hal-

hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- ? volume (V)
- ? tekanan (P)
- ? suhu (T)

Ketiga hal itu saling berkaitan, berhubungan dan dapat berubah-ubah. Adapun hubungan-hubungan yang dapat terjadi adalah sebagai berikut:

- ? Hubungan tekanan gas (P) dan volume gas (V) dengan suhu gas (T) tetap yang disebut proses *isotermis*. Hasil eksperimen *Robert Boyle* disimpulkan sebagai *hukum Boyle*, dapat dinyatakan sebagai berikut:  
"Pada suhu konstan, tekanan gas berbanding terbalik terhadap volume"

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{konstanta}}{V} \text{ atau } P \cdot V = \text{konstanta}$$

Sehingga berlaku:  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$

Dengan: P = tekanan gas (N/m<sup>2</sup>; pascal =Pa)

V = volume gas (m<sup>3</sup>)

- ? Hubungan volume gas (V) dan suhu gas (T) dengan tekanan gas (P) tetap yang disebut *proses isobaris*. Hasil eksperimen *Charles* disimpulkan sebagai *hukum Charles*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

"Pada tekanan konstan, volume gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya".

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C \cdot T \text{ atau } \frac{V}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Dengan: V = volume (m<sup>3</sup>)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta.



? Hubungan tekanan gas (P) dan suhu gas (T) dengan volume gas (V) tetap yang disebut *proses isokhoris atau isovolume*. Hasil eksperimen *Gay Lussac* disimpulkan sebagai *hukum Gay Lussac*, dapat dinyatakan sebagai berikut:

*Pada volume konstan, tekanan gas dengan massa tertentu sebanding dengan suhu mutlaknya.*

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P = C \cdot T \text{ atau } \frac{P}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

Dengan: P = tekanan (N/m<sup>2</sup>; pascal = Pa)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

? Hubungan tekanan gas (P), volume gas (V) dan suhu gas (T). Hasil eksperimen *Boyle, Gay Lussac dan Charles* disimpulkan sebagai *hukum Boyle- Gay Lussac*, yang diasumsikan bahwa tekanan dan suhu gas *sama* di setiap bagian gas tersebut. Hal ini berarti gas berada dalam keadaan *setimbang mekanis dan termis*. Jika perumusan Boyle, Gay Lussac dan Charles digabungkan maka diperoleh perumusan sebagai berikut:

Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$P \cdot V = C \cdot T \text{ atau } \frac{P \cdot V}{T} = C$$

Sehingga berlaku:  $\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$

Dengan: P = tekanan (N/m<sup>2</sup>; pascal = Pa)

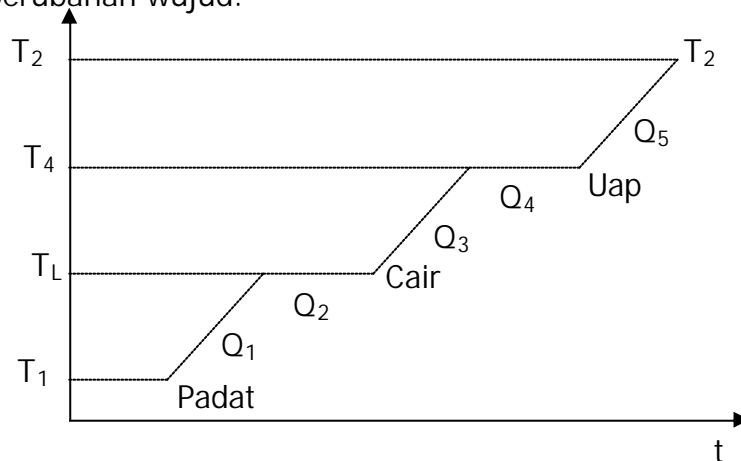
V = volume (m<sup>3</sup>)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta

9. Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Berarti kalor merupakan besaran fisika yang dapat diukur.

10. Satu kalori (kal) didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 gram air sehingga suhunya naik  $1^{\circ}\text{C}$ .
11. Kalor jenis suatu zat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan ( $Q$ ) untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu ( $m$ ) sebesar satu satuan suhu ( $\Delta T$ ).
12. Jika dua benda yang mempunyai suhu berbeda didekatkan sehingga terjadi kontak termis, maka zat yang suhunya lebih tinggi akan melepaskan kalor yang sama banyaknya dengan kalor yang diserap oleh zat yang suhunya lebih rendah sehingga suhu akhir kedua benda setelah kesetimbangan termis tercapai adalah *sama*.
13. Diagram perubahan wujud.



Pada awalnya suhu benda dapat dinaikkan sampai mencapai suhu leburnya  $T_L$  dengan menambahkan sejumlah panas  $Q_1$ , setelah mencapai suhu  $T_L$  terus ditambahkan panas  $Q_2$  sehingga benda melebur pada suhu  $T_L$ . Setelah benda berubah wujud menjadi cair kemudian suhunya dinaikkan hingga  $T_U$  dengan menambahkan panas sejumlah  $Q_3$ . Pada kondisi ini ditambahkan panas sejumlah  $Q_4$  sehingga benda berubah wujud menjadi uap pada suhu  $T_U$ . Setelah kondisi uap tercapai, suhu dinaikkan sampai mencapai suhu  $T_2$  dengan menambahkan panas sejumlah  $Q_5$ . Dari keseluruhan proses tersebut dapat diketahui jumlah panas yang diperlukan selama proses perubahan wujud/fase berlangsung.

## Lembar Penilaian Tes Peserta

Nama Peserta :  
 No. Induk :  
 Program Keahlian :  
 Nama Jenis Pekerjaan:

### **PEDOMAN PENILAIAN**

No.	Aspek Penilaian	Skor Maks.	Skor Perolehan	Keterangan
1	2	3	4	5
<b>I</b>	<b>Perencanaan</b>			
	1.1. Persiapan alat dan bahan.	2		
	1.2. pengenalan terhadap alat ukur yang digunakan.	3		
	<b>Sub total</b>	5		
<b>II</b>	<b>Model Susunan</b>			
	2.1. Merangkai alat dan bahan sesuai dengan gambar.	5		
	<b>Sub total</b>	5		
<b>III</b>	<b>Proses (Sistematika &amp; Cara kerja)</b>			
	3.1. Cara melakukan pengukuran.	7		
	3.2. Cara membaca skala termometer.	7		
	3.3. Cara membaca skala neraca ohaus.	7		
	3.4. Cara menuliskan hasil pengukuran.	7		
	3.5. Cara menganalisis data.	7		
	<b>Sub total</b>	35		
<b>IV</b>	<b>Kualitas Produk Kerja</b>			
	4.1. Rangkaian yang disusun sesuai.	5		
	4.2. Data-data yang diperoleh sesuai.	20		
	4.3. Kegiatan diselesaikan dengan waktu yang telah ditentukan.	10		
	<b>Sub total</b>	35		
<b>V</b>	<b>Sikap/Etos Kerja</b>			
	5.1. Tanggung jawab.	2		
	5.2. Ketelitian.	3		
	5.3. Inisiatif.	3		
	5.4. Kemandirian.	2		
	<b>Sub total</b>	10		
<b>VI</b>	<b>Laporan</b>			
	6.1. Sistematika penyusunan laporan.	4		
	6.2. Ketepatan merumuskan simpulan.	6		
	<b>Sub total</b>	10		
	<b>Total</b>	100		

## **KRITERIA PENILAIAN**

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

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

## BAB IV. PENUTUP

---

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

Jika anda sudah merasa menguasai modul, mintalah guru/instruktur anda untuk melakukan uji kompetensi dengan sistem penilaian yang dilakukan oleh pihak dunia industri atau asosiasi profesi yang kompeten apabila anda telah menyelesaikan suatu kompetensi tertentu. Atau apabila anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi yang disediakan dalam modul ini, maka hasil yang berupa nilai dari guru/instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh pihak industri atau asosiasi profesi. Selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standar pemenuhan kompetensi tertentu dan apabila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh industri atau asosiasi profesi.

# DAFTAR PUSTAKA

---

- Foster, Bob, 2000. *Fisika SMU Kelas 2*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Halliday dan Resnick, 1991. *Fisika Jilid I (Terjemahan)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Halpern, A. 1988. *Schaum's 3000 Solved Problems in Physics*. Singapore: McGraw Hill,
- Hewitt, P.G., 1987. *Conceptual Physics*. California: Addison Wesley Publishing Company, Inc.
- Kanginan, M., 2001. *Fisika 2000 SMU Kelas 2*. Jakarta : Penerbit Erlangga