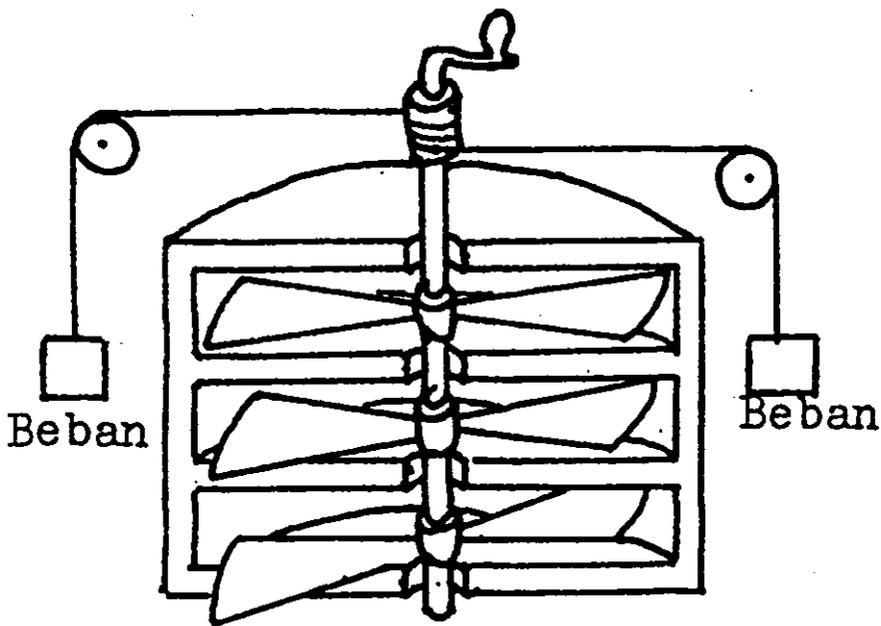


M L K U P T A E	STAKAAN KIP PADANG
DATE	JUNI 1992
SURAT	HD
KATEGORI	KK1
NO. SURAT	157/HD/92-01(0)
NO. KARTU	621430 72 HEN 0

# ILMU PANAS



Oleh

Drs. Jon Hendri

Drs. Usmeldi

M L K U P T A E STAKAAN  
KIP PADANG

FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

P A D A N G

1992

M L K U P T A E STAKAAN  
KIP PADANG  
INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
PADANG

## KATA PENGANTAR

Pada buku Ilmu Panas ini akan dibahas masalah efek panas dan perpindahan panas serta aplikasinya dalam bidang keteknikan, dimana panas merupakan salah satu bentuk energi yang menjadi sumber energi pesawat-pesawat tenaga.

Ilmu panas dalam bidang keteknikan dan permesinan merupakan pengetahuan dasar untuk pesawat-pesawat tenaga tersebut.

Kemudian penulis mengharapkan buku ini benar-benar dapat membantu para pembaca dalam memahami dan menyelesaikan masalah yang lebih jauh tentang ilmu panas yang mendasari adanya hal-hal yang bersifat aplikasi.

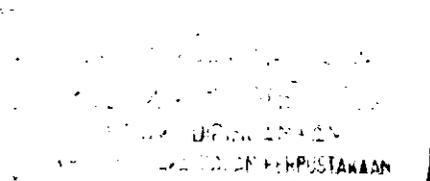
Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Nizwardi Jalinus, M.Ed., yang telah memberi bimbingan dan saran dalam menyiapkan buku ini.
2. Bapak Drs. Hasanuddin, yang telah memberi saran dalam menyiapkan buku ini.
3. Teman-teman staf pengajar Fisika Teknik, atas bantuan dalam menyelesaikan penulisan buku ini.

Akhirul kata kritik dan saran yang sifatnya membangun akan penulis terima dengan hati terbuka, demi perbaikan menuju kesempurnaan.

Padang, April 1992

Penulis



# DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB II. PENGERTIAN PANAS .....	3
A. Temperatur .....	3
B. Termometer .....	4
C. Menyatakan Temperatur Secara Kwantitatif .	5
D. Derajat Temperatur .....	5
E. Jenis Termometer .....	8
F. Soal Latihan .....	13
BAB III. JUMLAH PANAS .....	15
A. Satuan Panas .....	16
B. Kapasitas Panas .....	17
C. Harga Kalor .....	19
D. Pencampuran Panas .....	20
E. Soal Latihan .....	22
BAB IV. PERUBAHAN WUJUD .....	25
A. Panas Sensibel .....	25
B. Panas Laten .....	26
C. Panas Laten Dan Pencampuran Panas .....	30
D. Soal Latihan .....	32
BAB V. PEMUAIAN .....	36
A. Pemuaian Panjang .....	37
B. Pemuaian Luas .....	38

	C. Pemuaian Ruang .....	40
	D. Massa Jenis Pada Pemuaian Ruang .....	41
	E. Tekanan Dan Tegangan Thermis Pada Pemuaian .....	42
	F. Soal Latihan .....	44
<b>BAB</b>	<b>VI. PERPINDAHAN PANAS .....</b>	<b>48</b>
	A. Konduksi .....	48
	B. Konveksi .....	51
	C. Radiasi .....	53
	D. Hukum Stefan .....	54
	E. Soal Latihan .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>59</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

Panas merupakan suatu bentuk energi, maka secara umum dapat dikatakan bahwa energi itu menyimpan kemampuan untuk melakukan kerja yang merupakan sumber dari energi mekanik, begitu pula sebaliknya, karena adanya gerak mekanik, panas-pun akan timbul.

Hal yang demikian akan selalu diikuti dengan kehilangan atau menurunnya panas dan mengakibatkan temperatur benda akan bertambah atau turun, terjadi perubahan bentuk, ukuran benda dan tahanan listrik.

Secara ringkas isi buku ini akan membahas masalah seperti berikut :

### 1. Efek Panas

Efek panas dapat merubah bentuk benda, baik benda cair, padat maupun gas, benda padat dapat bertambah panjang dimensinya. Efek panas yang lain dapat pula merubah wujud benda padat menjadi cair, dari cair menjadi gas dan proses kebalikannyapun dapat pula terjadi bila kehilangan panas.

Efek panas lainnya dapat pula menimbulkan perubahan struktur dari benda yang mendapat panas. Secara kimiawi akibat panas, benda dapat saling bereaksi untuk menimbulkan panas. Panas yang dihasilkan ini dapat pula dirubah menjadi tenaga mekanik. Umumnya secara thermodinamika proses ini banyak terjadi dalam pesawat-pesawat tenaga.

### 2. Perpindahan Panas

Panas dalam dimensi lain dapat pula berpindah dari satu benda ke benda yang lain dengan cara : Konduksi, Konveksi dan Radiasi.

Mempelajari ilmu panas akan melibatkan kita pada banyak hal yang menyangkut kehidupan manusia. Mobil yang dikendarai dapat bergerak karena adanya energi panas yang dihasilkan lewat proses pembakaran. Mesin bubut yang digunakan untuk memotong benda kerja dengan pahatnya terpaksa diberi Coolant, ju-

ga karena ada panas disana. Elektroda las yang memijar pada saat pengelasan benda kerja juga karena ada panas.

Kemudian dalam kehidupan manusia dan lingkungannya sehari-hari, tidak terlepas dari sifat panas itu sendiri, misalnya tubuh yang bergerak di alam tropis, sampai terbakarnya hutan karena panas dikemarau panjang.

Oleh sebab itu dapat dikatakan bahwa Ilmu Panas adalah suatu ilmu pengetahuan yang menjadi bagian dari Ilmu Fisika yang mendasari pengembangan keteknikan.

## BAB II

### PENGERTIAN PANAS

Kita rasakan api itu panas, sehingga pengertian panas tidak jarang dihubungkan dengan api. Panas dapat dirasakan secara langsung oleh panca indera kita dengan jalan membanding-bandingkan. Panca indera kita dapat menetapkan perasaan panas dari benda dalam ukuran -ukuran seperti : dingin atau panas. Tetapi perasaan-perasaan ini adalah subyektif dan bergantung kepada perasaan tiap-tiap orang. ( Jogoanlie. 1965 hal. 1).

Kemudian para ahli fisika mencoba menerangkan panas ini dengan menganggap panas itu terdiri dari partikel-partikel panas. Makin banyak suatu benda mengandung partikel panas maka makin panas benda itu kita rasakan melalui panca indera kita. Sebaliknya benda dingin apabila banyak mengandung partikel-partikel dingin. Partikel-partikel ini dapat masuk ke dalam pori benda sehingga menimbulkan kepanasan atau kedinginan pada benda tersebut serta dapat juga terbawa dalam udara yang menyebabkan iklim terasa panas atau dingin.

Teori moderen menyatakan bahwa panas merupakan energi internal suatu benda yang merupakan jumlah tenaga dari molekul yang bergetar pada benda tersebut. Bila panas ditambahkan maka molekul benda akan bergetar lebih kuat. Hal ini disebabkan oleh pertambahan panas tadi.

Joule membuktikan bahwa jumlah kerja suatu sistim berbanding langsung dengan panas yang dihasilkan pada kenaikan temperatur. (Silvia Chaplin. 1974; hal 241).

#### A. Temperatur

Suatu cara yang sangat teliti dibutuhkan untuk mengukur atau memperkirakan seberapa panas atau seberapa dinginnya suatu benda. Hal ini akan menentukan derajat kepanasan, inilah yang biasa kita sebut temperatur.

Apabila air panas dicampur dengan air dingin yang sama banyaknya, maka air dingin tersebut akan terasa agak panas,

dengan kata lain panas berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Dapat kita simpulkan bahwa temperatur merupakan angka yang menunjukkan derajat panas suatu objek dengan skala tertentu, sedangkan alat pengukur temperatur disebut termometer. (Rayner. 1977; hal 12).

## B. Termometer

Temperatur perlu ditentukan secara kuantitatif dan penentuan atau cara penentuan ini disebut thermometri. Pada taraf pertama secara langsung kita dapat merasakan ukuran temperatur melalui panca indera. Tetapi disini kita mengalami banyak kesulitan dalam hal ketelitian dan batas pengukuran.

Tiap orang merasakan temperatur dengan ukuran yang berlainan, misalnya temperatur akan terasa lebih tinggi bila kita sedang dalam keadaan dingin atau kedinginan, demikian sebaliknya. Disamping itu panca indera kita tidak dapat menentukan ukuran-ukuran temperatur yang berbeda sedikit. Batas pengukuran sangat sempit, karena manusia tidak dapat menyesuaikan diri kepada segala keadaan atau temperatur.

Ukuran temperatur adalah suatu besaran skalar dan besaran ini dapat berubah-ubah, misalnya zat yang berlainan temperaturnya bila dicampur, akhirnya jika tidak terganggu akan mencapai suatu keadaan keseimbangan yakni mempunyai suatu temperatur yang sama yang terletak diantara kedua temperatur semula. Sifat-sifat ini dapat dipergunakan untuk menentukan ukuran temperatur secara tidak langsung. Alat untuk mengukur temperatur ini disebut termometer.

Pengukuran temperatur secara tidak langsung dengan menggunakan sifat fisis dari benda meliputi beberapa hal :

### 1. Zat

Pada umumnya setiap zat dapat dipergunakan untuk termometer, untuk zat padat dipergunakan misalnya : platina, alumel dan sebagainya, untuk zat cair dapat dipergunakan air raksa, alkohol dan lain-lain, sedangkan untuk gas dapat dipakai air, zat lemas atau udara.

Dari ketiga zat itu, menurut Jean Andre De luc mengang-

gap air raksa adalah yang terbaik, jika dilihat dari sudut pemuaian yang cukup linear, konduktor yang baik serta mendidih pada temperatur yang cukup tinggi. (Jogoanlie. 1965; hal. 4).

## 2. Sifat-Sifat Fisis

Sifat-sifat seperti perubahan volume, tekanan, tahanan listrik perlu juga dipertimbangkan dalam dalam pengukuran temperatur secara tidak langsung, maka itu perlu diperhatikan batas-batas ukuran dimana sifat fisis yang bersangkutan masih baik untuk dipakai sebagai dasar pengukuran temperatur.

### C. Menyatakan Temperatur Secara Kwantitatif

Untuk menentukan nilai temperatur secara kwantitatif harus memenuhi syarat guna dapat direproduksi. Jika suatu temperatur dari keadaan sudah dinyatakan dengan harga atau angka, maka setiap kali memperoleh angka atau harga temperatur itu keadaan sesungguhnya haruslah tepat dengan keadaan semula atau sebaliknya. Jadi harus ada hubungan timbal balik antara keadaan temperatur dengan harga atau angka temperatur itu.

Menentukan angka-angka temperatur kita memerlukan dua buah titik tetap untuk dipakai sebagai patokan. Titik-titik tetap ini mudah direproduksi dengan baik, misalnya menggunakan titik beku (es yang sedang melebur) dan titik didih (air yang sedang mendidih) air murni sebagai titik-titik tetap. (Schofield. 1970 ; hal. 18)

### D. Derajat Temperatur

Ukuran temperatur dinyatakan dengan angka-angka dan angka-angka ini disebut derajat. Derajat temperatur diikuti dengan nama kriterium penentuan angka-angka itu. Ada beberapa macam derajat temperatur, seperti berikut :

#### 1. Derajat Fahrenheit

Daniel Gabriel Fahrenheit mula-mula mempergunakan termometer alkohol dan kira-kira tahun 1721 baru mempergunakan air raksa.

Fahrenheit menyusun suatu skala dengan derajat-derajat temperatur dengan menggunakan titik batas bawah  $32^{\circ}$  dan titik atas  $212^{\circ}$  pada tekanan barometer 76 cm Hg dengan pembagian skala 180 antara kedua titik itu.

## 2. Derajat Reamur

Pada kira-kira tahun 1730, Rene Antonie Ferchault de Reamur membuat derajat temperatur dengan cara yang lain. Reamur lebih suka menggunakan alkohol dalam tabung.

Reamur menggunakan titik batas bawah yakni titik beku air yang ditetapkan sebagai  $0^{\circ}$ , sedangkan titik batas atas air mendidih dengan pembagian 80 bagian antara kedua titik itu.

## 3. Derajat Celcius

Anders Celcius pada tahun 1742, juga menyusun derajat temperatur. Titik batas bawah ditentukan berdasarkan titik lebur es dinyatakan sebagai  $0^{\circ}$  dan titik batas atas berdasarkan temperatur uap saat air mendidih dinyatakan sebagai  $100^{\circ}$  pada tekanan atmosferis 76 cm Hg.

Antara kedua titik tersebut Celcius membagi menjadi 100 bagian skala dengan ketentuan 1 bagian 1 derajat celcius.

## 4. Perbandingan Derajat-Derajat Temperatur

Ternyata bila dipandang daerah temperatur di atas, maka diantara kedua titik tetap, derajat-derajat Fahrenheit, Reamur dan Celcius masing-masing terbagi dalam 180, 80 dan 100 derajat dan perbandingannya adalah :

$$F : R : C = 9 : 4 : 5 \dots\dots\dots (2-1)$$

$$t^{\circ}C = 4/5 \text{ }^{\circ}R = ( 9/5 .t + 32 ) \text{ }^{\circ}F$$

(Kane and Sternheim. 1980; hal. 184)

## 5. Derajat Temperatur Mutlak

Dalam SI unit digunakan Derajat Termodinamik menurut Kelvin derajat nol mutlak adalah titik temperatur dimana gas tidak lagi berkembang. Titik ini adalah 0 K atau  $-273^{\circ}C$ .

Jadi :

$$0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K} \text{ atau } T = (273 + t) \text{ K} \dots(2-2)$$

### Contoh Soal

1. Gas meletup pada temperatur  $2500^{\circ}\text{C}$  di dalam silender mobil. Berapakah derajat Fahrenheit temperatur tersebut ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} F &= 9/5 \cdot t + 32 \\ &= 9/5 \cdot 2500 + 32 \\ &= 4500 + 32 \\ &= 4532^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

2. Berapa derajat Fahrenheit temperatur  $255,2 \text{ K}$  dan hitung juga dalam temperatur Reamur.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} C &= T - 273 \\ &= 255,2 - 273 \\ &= -17,8^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 9/5 \cdot t + 32 \\ &= 9/5 \cdot (-17,8) + 32 \\ &= -32,04 + 32 \\ &= -0,4^{\circ}\text{F} \text{ mendekati } 0^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= 4/5 \cdot t \\ &= 4/5 \cdot (-17,8) \\ &= -14,24^{\circ}\text{R} \end{aligned}$$

Jadi kalau dihitung dalam derajat Reamur didapat temperatur sebesar  $-14,24^{\circ}\text{R}$

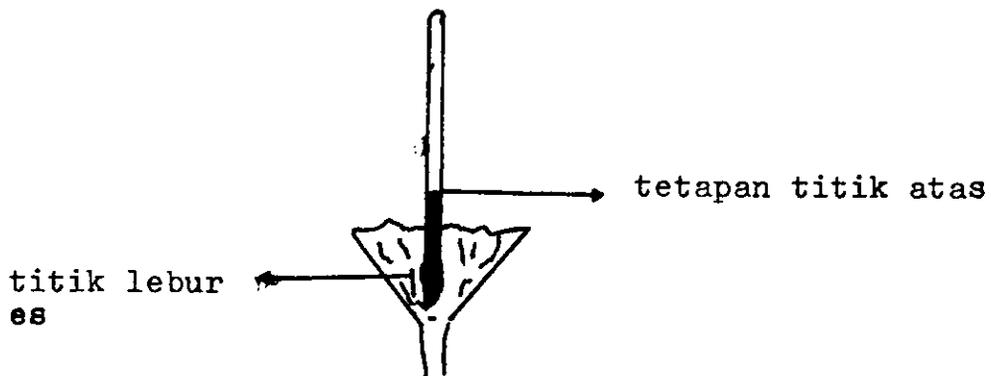
## E. Jenis Termometer

Pengukuran temperatur diperlukan dibanyak bidang pekerjaan. Seorang dokter memerlukan termometer untuk mengetahui temperatur badan pasiennya, mesin pendinginan perlu diukur temperatur terendahnya dengan menggunakan gas termometer, di pabrik pengolahan baja, diruangan ber AC, di Laboratorium semua membutuhkan termometer dan juga seperti contoh di bawah ini :

- a. Termometer alkohol, digunakan dokter di Klinik dan lain-lain.
- b. Termometer air raksa, digunakan di Laboratorium.
- c. Thermo Electric Thermometer, digunakan pada Industri.
- d. Thermocouple, digunakan pada Industri.

### 1. Termometer Air Raksa

Menentukan temperatur suatu objek tidaklah reliable bila hanya dengan sentuhan saja. Termometer air raksa pengukuran cukup mapan, karena pengukuran dengan termometer ini, peka menerima panas ( lihat gambar II-1 )



Gambar II-1. Termometer Air Raksa

Termometer ini banyak digunakan di laboratorium dengan titik didih air raksa  $357^{\circ}\text{C}$  sedangkan titik beku air raksa adalah  $-39^{\circ}\text{C}$ . Bila dibandingkan dengan alkohol sebagai cairan pada termometer maka ada beberapa keuntungan air raksa

yaitu :

- a. Air raksa tidak membasahi tabung kaca, sedangkan alkohol cenderung untuk meninggalkan tetesan-tetesan, sehingga ada kemungkinan kesalahan pembacaan skala.
- b. Air raksa konduktor yang lebih baik dari alkohol.
- c. Titik didih air raksa lebih tinggi dari alkohol ( $357^{\circ}\text{C}$ ), sehingga memungkinkan untuk mengukur temperatur sampai  $350^{\circ}\text{C}$ .

Bila kita ingin menentukan skala temperatur sebuah termometer air raksa, maka dari contoh di bawah ini dapat kita tentukan. Bila tekanan 600 mm Hg pada tabung kaca pada  $0^{\circ}\text{C}$  dan 820 mm Hg pada temperatur air mendidih  $100^{\circ}\text{C}$ , serta 650 mm Hg pada temperatur  $t^{\circ}\text{C}$ , maka kita dapat menentukan harga dari  $t^{\circ}\text{C}$ .

$$L_{100} = 820 \text{ mm Hg (tekanan air raksa pada } 100^{\circ}\text{C)}$$

$$L_0 = 600 \text{ mm Hg (tekanan air raksa pada } 0^{\circ}\text{C)}$$

$$L_t = 655 \text{ mm Hg (tekanan air raksa pada } t^{\circ}\text{C)}$$

$$L_{100} - L_0 = 820 - 600 = 220 \text{ mm Hg}$$

$$100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C}$$

$$L_t - L_0 = 655 - 600 = 55 \text{ mm Hg}$$

$$\text{Jadi harga } t = 55/220 \cdot 100^{\circ}\text{C} = 25^{\circ}\text{C}$$

## 2. Termometer Gas

Termometer gas dipakai untuk pengukuran temperatur yang teliti. Sebagai contoh, perubahan volume yang besar dari suatu gas akan terjadi bila temperatur bertambah.

Suatu bentuk sederhana dari termometer gas volume konstan yang terdiri dari sebuah bola kaca yang berisi udara berhubungan dengan pipa kapiler yang berisi air raksa dari suatu manometer (lihat gambar II-2)

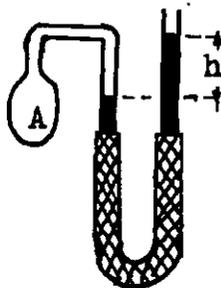
Bila tabung A dipanaskan sampai temperatur tertentu  $t$ , sisi kiri dari manometer yang berisi air raksa akan naik, volume gas dibuat konstan, maka kedua kaki manometer akan terjadi perbedaan tinggi air raksa sebesar  $h$ . Tekanan gas sekarang sebesar  $P_t = P_A + h$ ,  $P_A$  = tekanan atmosfer

Jika  $P_0$  dan  $P_{100}$  adalah tekanan pada  $0^\circ\text{C}$  dan  $100^\circ\text{C}$ , maka temperatur pada tekanan  $P_t$  dicari dengan :

$$\frac{t}{100} = \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0} \dots\dots\dots(2-3)$$

atau

$$\frac{t}{100} = \frac{h_t - h_0}{h_{100} - h_0} \dots\dots\dots(2-4)$$



Gambar II-2. Termometer Gas

#### Contoh Soal

1. Tekanan gas dalam termometer gas volume konstan pada temperatur  $0^\circ\text{C}$  adalah 325 mm Hg dan pada  $100^\circ\text{C}$  adalah 458 mm Hg. Hitunglah temperatur pada tekanan 410 mm Hg dan 453 mm Hg.

#### Penyelesaian

Dari persamaan :

$$t/100 = \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0}$$

$$\begin{aligned} \text{a.} \quad &= \frac{410 - 325}{458 - 325} \\ &= 85/133 \cdot 100 = 64^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.} \quad t/100 &= \frac{543 - 325}{458 - 325} \\ &= 218/133 \cdot 100 \\ &= 164^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3. Termometer Tahanan

Tahanan listrik dari berbagai logam berubah menurut temperatur, tahanan listrik  $R$  berubah sehingga sumber tegangan listrik yang tetap, arus listrik ikut berubah menurut perubahan temperatur.

Untuk pengukuran presisi dipergunakan tahanan listrik platinum, sebab dengan menggunakan logam ini, maka batas ukurnya adalah besar, yakni dari temperatur sangat rendah sampai titik leburnya  $1773^{\circ}\text{C}$  (Roger Muncaster. 1982;hal.161)

Jika  $t$  sebagai temperatur pada  $0^{\circ}\text{C}$ , sedangkan  $R_t$ ,  $R_0$  dan  $R_{100}$ , masing-masing tahanan listrik dalam ohm untuk temperatur  $t$ , titik lebur es dan titik didih air, maka

$$t/100 = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \dots\dots\dots (2-5)$$

#### Contoh Soal

- Sebuah termometer tahanan listrik mempunyai sebuah tahanan 30 ohm pada temperatur titik lebur es, 41,58 ohm pada temperatur uap saat air mendidih dan 34,59 ketika tenggelam dalam cairan yang mendidih. Sebuah termometer gas volume konstan terbaca tekanan  $1,333 \cdot 10^5$  Pa,  $1,821 \cdot 10^5$  Pa dan  $1,528 \cdot 10^5$  Pa pada temperatur yang sama. Hitunglah temperatur ketika tenggelam dalam cairan, pada:
  - Skala dari termometer gas.
  - Skala dari termometer tahanan listrik.

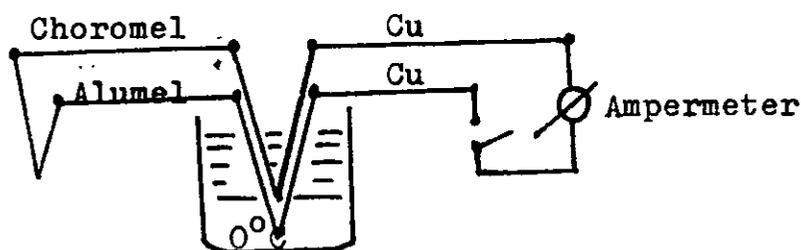
#### Penyelesaian

$$\begin{aligned} \text{a.} \quad t/100 &= \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0} \\ t/100 &= \frac{(1,528 \cdot 10^5 - 1,333 \cdot 10^5)}{(1,821 \cdot 10^5 - 1,333 \cdot 10^5)} \\ t &= \frac{0,195 \cdot 10^5}{0,488 \cdot 10^5} \times 100 \\ &= 39,96^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } t/100 &= \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \\
 &= \frac{(34,59 - 30,00)}{(41,58 - 30,00)} \\
 &= \frac{4,39}{11,58} \times 100 \\
 &= 39,64^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

#### 4. Thermocouple

Bila dua jenis logam yang berlainan disambung kedua ujungnya satu dan lainnya, sehingga merupakan rangkaian tertutup (lihat gambar II - 3), maka temperatur yang berbeda pada kedua sambungannya itu akan timbul beda potensial listrik diantara kedua logam tersebut. Dengan menggunakan beda potensial ini temperatur dapat kita ukur, setelah temperatur pada salah satu sambungan diketahui.



Gambar II - 3. Rangkaian Termocouple Chromel-Alumen.

Sambungan dari logam Chromel dan Alumel dibuat tetap pada  $0^\circ\text{C}$  sehingga temperatur yang tidak sama dengan nol pada sambungan lain akan menimbulkan beda potensial listrik diantara kedua paduan itu. Beda potensial ini akan menimbulkan arus listrik dalam rangkaian yang dapat diketahui melalui amper meter, sehingga arus listrik dapat dipakai sebagai ukuran temperatur. Pengukuran temperatur selanjutnya dilakukan dengan penentuan titik tetap bawah dan titik tetap atas

yang sesuai.

Selain Thermocouple Chromel - Slumel yang dapat dipergunakan untuk pengukuran antara  $300^{\circ}\text{C}$  dan  $850^{\circ}\text{C}$ , dikenal juga Thermocouple seperti : tembaga - konstantan dengan batas ukur  $38^{\circ}\text{C}$  sampai  $550^{\circ}\text{C}$ , Besi-Konstantan antara  $-18^{\circ}\text{C}$  sampai  $700^{\circ}\text{C}$ . Platina-Platina dengan Rhodium antara  $700^{\circ}\text{C}$  sampai  $1600^{\circ}\text{C}$ . Nikel Chrom-Chrom samapai  $1000^{\circ}\text{C}$ . (Jogoanlie. 1965; hal. 22-23).

#### F. Soal Latihan

1. Apakah keuntungan-keuntungan dan kerugian dari termometer air raksa sebagai alat ukur temperatur .
2. Temperatur suatu ruangan adalah  $70^{\circ}\text{F}$ . Hitunglah dengan skala Celcius . Kunci Jawaban  $21^{\circ}\text{C}$
3. Titik cair  $330^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $1170^{\circ}\text{C}$  dari timah hitam, nyatakan temperatur ini dalam skala Fahrenheit. Kunci jawaban  $626^{\circ}\text{F}$  dan  $2138^{\circ}\text{F}$ .
4. Air raksa mendidih pada  $-40^{\circ}\text{C}$ . Berapa temperatur ini dalam skala Fahrenheit. Kunci jawaban  $-40^{\circ}\text{F}$
5. Skala acuan yang dipakai Celcius untuk menentukan skala termometer.
6. Panjang jalur air raksa pada sebuah termometer pada saat air membeku ( $0^{\circ}\text{C}$ ) adalah 32 mm dan ketika dicelupkan ke-dalam air mendidih ( $100^{\circ}\text{C}$ ) adalah 210 mm, berapakah temperatur yang ditunjukkan bila panjang jalur air raksa 86 mm. Kunci jawaban  $30^{\circ}\text{C}$ .
7. Tahanan sebuah Coil dari platina adalah 13,5 ohm dalam titik lebur es dan 14,7 ohm dalam uap pada tekanan satu atmosfer. Hitunglah temperatur untuk platina ketika tahanan 13,692 ohm. Kunci jawaban  $16^{\circ}\text{C}$ .
8. Berapa derajat Fahrenheit sama tingginya dengan 300 K. Kunci jawaban  $80,6^{\circ}\text{F}$
9. Berapa derajat Celcius dan berapa derajat Reamurkah sama dengan  $0^{\circ}\text{F}$ . Kunci jawaban  $-17,777^{\circ}\text{C}$  dan  $-14,222^{\circ}\text{R}$

10. Temperatur tubuh normal adalah  $98,6^{\circ}\text{F}$ , nyatakan dalam skala Celcius. Kunci jawaban  $37^{\circ}\text{C}$
11. Tahanan  $R_t$  dari tahanan termometer pada temperatur  $t$  diukur dengan termometer gas volume konstan adalah :

$$R_t = 50 + 0,17 t + (3,00 \times 10^{-4} t^2)$$

Hitunglah temperatur bila diukur dengan tahanan termometer yang dihubungkan dengan temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  pada termometer gas pada volume konstan.

Kunci jawaban  $56,40^{\circ}\text{C}$

### BAB III

#### JUMLAH PANAS

Percobaan Joseph Black pada abad ke 18 mengenai penambahan panas ketika terjadi peleburan es dan pendidihan air yang tidak menaikkan temperatur, jumlah panas dan temperatur walaupun mempunyai hubungan yang erat satu sama lainnya, tetapi merupakan dua besaran yang berbeda. Jumlah panas merupakan suatu besaran yang menjadi sumber dari temperatur.

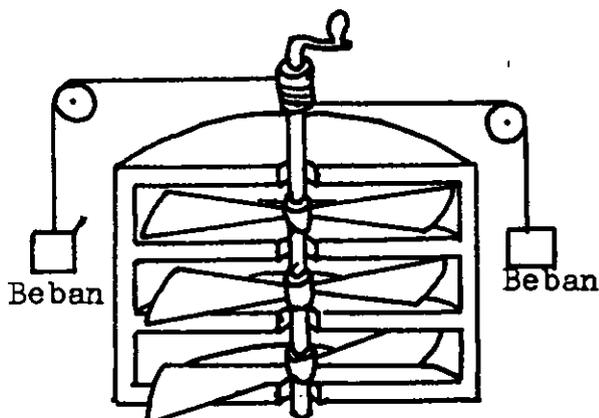
Para Ilmuwan juga menyatakan panas sebagai suatu aliran yang tidak terlihat, disebutnya kalori yang mengisi ruang-ruang antar molekul dari benda, maka kalori dianggap sebagai sejenis fluida yang dapat masuk ke segala tempat, tak dapat ditimbang dan sangat kenyal, sedangkan partikel-partikel kalori ini dapat ditarik oleh zat lain dan ditolak. Kalori sebagai sejenis fluida dengan sendirinya seperti zat lainnya, adalah kekal tak dapat musnah, melainkan dapat berpindah dari suatu tempat ketempat lainnya. (Arthur Beiser. 1964; hal.208).

Bila kalori ditambahkan kepada suatu benda, maka temperatur benda itu akan naik oleh desakan kalori kedalam benda itu, serta juga akibat tolak menolak antara partikel kalori, volume benda bertambah dan sebaliknya. (Jogoanlie. 1965;hal. 25 ).

Kemudian Rumford melakukan percobaan dengan menggeserkan silinder kuningan dengan bor baja, dan silinder ini di rendam dalam bejana berisi air. Ternyata temperatur air bertambah dan akhir mendidih, panas akan bertambah terus bila pergerakan berlangsung terus . Jadi jumlah panas yang bertambah adalah tak berhingga dan ini tak mungkin diterangkan dengan teori kalori, karena kalori yang dikandung sesuatu benda tentu terbatas. Karena panas yang timbul akibat gesekan, maka lebih tepat dikatakan bahwa panas mempunyai hubungan dengan kerja mekanis dari pergerakan itu.

Untuk membuktikan hal ini banyak para ahli fisika mencobanya, salah satu adalah percobaan Joule dengan menggunakan alat yang sangat sederhana (lihat gambar III-1)

Putaran poros yang disebabkan berat beban dikedua pulli akan memutar sudu-sudu dan air dalam tabung, pusaran air akan menimbulkan kenaikan temperatur yang diukur dengan termometer. Sehingga harga kalor yang dibutuhkan untuk memanasakan 1 gram air dengan kenaikan temperatur  $1^{\circ}\text{C}$  adalah 4,187 Joule.



Gambar III-1. Percobaan Joule.

Akhirnya teori kalori tidak dipakai sama sekali dan sebagai gantinya panas dianggap sebagai suatu bentuk energi setara dengan kerja.

#### A. Satuan Panas

Dengan panas sebagai suatu bentuk energi, maka pada dasarnya satuan panas dapat dinyatakan dengan satuan energi yang sudah ada. Tetapi dapat juga dinyatakan dengan satuan yang lain untuk memudahkan perhitungan dan hubungan satuan energi ini dengan satuan energi mekanis yang sudah ada perlu juga diketahui. Hubungan ini dikenal sebagai tara mekanis dari panas.

Dengan mengambil gram sebagai satuan massa air dan derajat Celcius sebagai satuan temperatur, untuk temperatur  $15^{\circ}\text{C}$  kita namakan satuan panas sebagai gram-kalori atau kalori, suatu nama yang diberikan untuk mengenang teori kalori. Jadi 1 kalori adalah jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 gram massa air dengan  $1^{\circ}\text{C}$  pada temperatur  $15^{\circ}\text{C}$ .

Untuk satuan SI, 1 gram massa diganti dengan 1 kilogram massa dan menurut definisi di atas, satuan panas menjadi 1 kilogram kalori atau 1 kilokalori (kkal), jadi 1 kkal = 1000 kal.

Jika satuan massa air dipergunakan lb dan satuan temperatur dalam Fahrenheit, maka pada temperatur 59°F satuan panas yang diperoleh disebut British Thermal Unit (BTU)

$$1 \text{ BTU} = 251,996 \text{ kal} \quad 252 \text{ kal}$$

Tara panas mekanis pada 15°C sesuai dengan percobaan Joule untuk lebih teliti adalah.

$$1 \text{ BTU} = 778,26 \text{ ft-lb}$$

dan

$$1 \text{ kal} = 4,1865 \text{ Joule}$$

sehingga tara mekanis dari panas ini adalah

$$1 \text{ Joule} = 4,187 \text{ Joule/kal}$$

### B. Kapasitas Panas

Pemberian panas umumnya menyebabkan temperatur benda naik. Jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperaturnya dengan satu satuan temperatur disebut kapasitas panas benda (KP)

$$KP = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \dots\dots\dots (3-1)$$

dimana :

$\Delta Q$  = jumlah panas (Joule)

$\Delta t$  = kenaikan temperatur ( °C)

Kapasitas panas suatu benda pada suatu keadaan dan temperatur tertentu ternyata tergantung kepada jumlah massa dan jenis bahannya. Oleh Joseph Black disebut panas jenis C, yang didefinisikan sebagai jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dengan satuan massa tertentu, satuan panas jenis suatu benda adalah Joule/kg °C.

$$\text{Panas Jenis} = \frac{\text{Jumlah panas}}{\text{massa} \times \text{kenaikkan temperatur}}$$

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

$$C = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt} \quad (\text{Joule/kg}^\circ\text{C}) \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

Dari persamaan (3-2), ternyata bahwa panas yang diperlukan oleh suatu benda pada perubahan temperatur adalah :

$$Q = m \times C \times \Delta t \quad (\text{Joule}) \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

Tabel Panas Jenis

No.	Bahan	Panas Jenis (C) kJ/kg <sup>o</sup> C
1	Alkohol	2,43
2	Aluminium	0,92
3	Emas	0,13
4	Es	2,10
5	Besi	0,46
6	Timah Hitam	0,13
7	Air Raksa	0,14
8	Marmar	0,88
9	Perak	0,23
10	Uap	2,01
11	Air	4,20

Sumber : The Foundations Of Physics

Contoh soal

1. Hitunglah energi pans yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 5 kg tembaga dari 15<sup>o</sup>C sampai mencapai titik leburnya 1083<sup>o</sup>C, harga panas jenis tembaga 0,42 kJ/kg<sup>o</sup>C.

Penyelesaian

Dari persamaan (3-3)

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C \cdot \Delta t \\ &= 5 \cdot 0,42 ( 1083-15) \end{aligned}$$

$$Q = 5 \cdot 0,42 \cdot 1068$$

$$= 2242,8 \text{ kJ}$$

Jadi energi panas yang dibutuhkan adalah 2242,8 kJ

### C. Harga Kalor

Setiap bahan bakar yang memproduksi energi panas mempunyai energi tertentu, bila kita ingin memperoleh bahan bakar untuk keperluan khusus, maka kita harus mempertimbangkan faktor biaya. Oleh karena itu kita perlu mengetahui harga kalor suatu bahan bakar. Yang dimaksud dengan harga kalor adalah jumlah panas pembakaran persatuan massa bahan bakar, kita dapat menentukan harga kalor bahan bakar dengan persamaan :

$$\text{Harga kalor} = \frac{\text{Jumlah panas pembakaran}}{\text{massa bahan bakar}}$$

$$H = \frac{Q}{m} \quad (\text{Joule/kg}) \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

Tabel Harga Kalor

No.	Bahan	Harga Kalor (J/kg)
1.	Batu bara	$30 \times 10^6$
2.	Minyak bakar	$46 \times 10^6$
3.	Gas pabrik	$28 \times 10^6$
4.	Gas alam	$55 \times 10^6$
5.	Kayu	$14 \times 10^6$
6.	Roti	$11 \times 10^6$
7.	Mentega	$34 \times 10^6$
8.	Susu	$30 \times 10^6$
9.	Kentang	$40 \times 10^6$
10.	Gula	$16 \times 10^6$

Sumber : Physics For Engineers

## Contoh Soal

1. 2 kg batu bara dibakar dengan efisiensi 90 %, diuji dengan sebuah kalorimeter. 300 kg air dialirkan, dimana temperatur masuk  $15^{\circ}\text{C}$  dan temperatur keluar  $65^{\circ}\text{C}$ . Berapa harga kalor pembakaran batu bara.

## Penyelesaian

$$\begin{aligned}\text{Energi yang timbul} &= m \text{ batu bara} \times \text{harga kalor } H \\ &= 2 \text{ kg} \times H \times 90 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panas yang timbul pada air} &= m \cdot C \cdot \Delta t \\ &= 300 \cdot 4,2 \cdot 1000 \cdot (65-15)\end{aligned}$$

Jadi

$$1,8 H = 300 \cdot 4,2 \cdot 1000 \cdot 50$$

$$\begin{aligned}H &= 35.000.000 \text{ Joule/kg} \\ &= 35.000 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

## D. Pencampuran Panas

Bagi benda-benda yang berlainan jenis, maka pencampuran panas ini dipengaruhi oleh panas jenis, yakni perbandingan panas jenis adalah sesuai dengan kebalikan perbandingan dari massa dikalikan beda temperatur.

$$C_1 : C_2 = m_2(t - t_2) : m_1(t_1 - t)$$

$$\text{untuk } t_2 > t_1$$

maka

$$t = \frac{m_1 \cdot C_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot C_2 \cdot t_2}{m_1 \cdot C_1 + m_2 \cdot C_2} \dots\dots\dots (3-5)$$

Kita dapat juga menghitung harga ini dengan menggunakan panas jenis dengan hukum kekekalan energi panas. Suatu benda dengan massa  $m_1$ , panas jenis  $C_1$  dan temperatur  $t_1$  dicampur dengan benda bermassa  $m_2$ , panas jenis  $C_2$  serta temperatur  $t_2 > t_1$ . Setelah mencapai kesetimbangan temperatur  $t$ , maka panas yang diberikan oleh benda kedua kepada benda

pertama adalah

$$Q_2 = m_2 C_2 (t_2 - t)$$

sedangkan panas yang diterima oleh benda pertama adalah :

$$Q_1 = m_1 C_1 (t - t_1)$$

dari kekekalan energi panas diperoleh :

$$t = \frac{m_1 C_1 t_1 + m_2 C_2 t_2}{m_1 C_1 + m_2 C_2}$$

### Contoh Soal

1. Sebuah ketel aluminium massa 0,8 kg berisi air sebanyak 1 kg pada temperatur 20°C. Hitunglah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air sampai mencapai titik didihnya dan anggaplah tidak ada panas yang hilang dalam pemanasan. Panas jenis air 4,18 kJ/kg °C  
Panas jenis aluminium 0,9 kJ/kg °C

### Penyelesaian

Jumlah energi panas yang dibutuhkan oleh air :

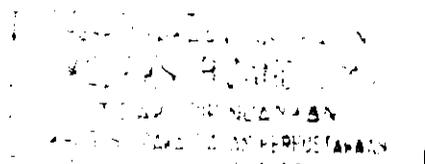
$$\begin{aligned} Q_a &= m_a \cdot C_a \cdot \Delta t \\ &= 1,5 \cdot 4,18 \cdot (100 - 20) \\ &= 501,6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jumlah energi panas yang dibutuhkan oleh ketel aluminium adalah :

$$\begin{aligned} Q_{al} &= m_{al} \cdot C_{al} \cdot \Delta t \\ &= 0,8 \cdot 0,9 \cdot (100 - 20) \\ &= 57,6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air dalam ketel uap adalah :

$$Q = Q_a + Q_{al}$$



$$Q = 501,6 + 57,6$$

$$= 559,2 \text{ kJ}$$

### E. Soal Latihan

1. 0,2 kg kopi pada temperatur  $90^{\circ}\text{C}$  dimasukkan kedalam cangkir 0,05 kg dengan temperatur  $20^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah temperatur akhir kopi, jika tidak ada panas yang hilang. Panas jenis cangkir  $0,837 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  dan kopi  $4,186 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

Kunci jawaban  $87^{\circ}\text{C}$

2. Berapa joule energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan 1 kg tembaga dari temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  ke  $100^{\circ}\text{C}$ , jika panas jenis tembaga  $0,39 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban 31,2 kJ

3. Sebuah kaleng tembaga yang massanya 250 gram berisi 400 gram air pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$ . Bila ke dalam kaleng itu dimasukkan tembaga bertemperatur  $100^{\circ}\text{C}$ , ternyata temperatur akhir menjadi  $34,5^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah panas jenis tembaga.

Kunci jawaban  $0,38 \text{ Joule/gr}^{\circ}\text{C}$

4. Panas jenis aluminium  $0,92 \text{ Joule/gr}^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah jumlah panas yang dilepaskan apabila 50 gr aluminium didinginkan dari  $100^{\circ}\text{C}$  menjadi  $30^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban -3150 Joule

5. 1 kg besi yang temperaturnya  $1000^{\circ}\text{C}$  dimasukkan dalam 10 kg air yang temperaturnya  $10^{\circ}\text{C}$ . Jika panas jenis besi  $0,46 \text{ Joule/gr}^{\circ}\text{C}$ , hitunglah temperatur akhirnya.

Kunci jawaban  $20,8^{\circ}\text{C}$

6. 100 gr timah putih yang temperaturnya  $30^{\circ}\text{C}$  dan panas jenisnya  $0,21 \text{ Joule/gr}^{\circ}\text{C}$  dimasukkan ke dalam bejana tembaga yang massanya 500 gr dan berisi 200 gr air bertemperatur  $80^{\circ}\text{C}$ . Jika panas jenis tembaga  $0,39 \text{ Joule/gr}^{\circ}\text{C}$ , berapa-

kah temperatur akhirnya.

Kunci jawaban  $79^{\circ}\text{C}$

7. Berapa jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan  $0,15\text{ kg}$  gas helium dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $80^{\circ}\text{C}$  pada tekanan konstan, diketahui panas jenis helium  $5,18\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $46,62\text{ kJ}$

8.  $14\text{ kg}$  aluminium dipanaskan dari  $15^{\circ}\text{C}$  ke  $80^{\circ}\text{C}$ , jika panas jenis aluminium  $0,92\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah jumlah energi panas yang diperlukan.

Kunci jawaban  $837,2\text{ kJ}$

9. Jika timah hitam pada  $100^{\circ}\text{C}$  dimasukkan pada  $1\text{ kg}$  air pada temperatur  $25^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah massa timah hitam supaya temperatur akhir dari pencampuran adalah  $50^{\circ}\text{C}$ , jika panas jenis timah hitam  $126\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

Kunci jawaban  $16,7\text{ kg}$

10. Bila diperkirakan tidak ada panas yang hilang, campuran  $1\text{ kg}$  air dengan temperatur  $16^{\circ}\text{C}$  dan  $3\text{ kg}$  air dengan temperatur  $72^{\circ}\text{C}$ , berapakah temperatur akhir.

Kunci jawaban  $58^{\circ}\text{C}$

11. Sebuah ketel aluminium massanya  $0,8\text{ kg}$  berisi air sebanyak  $1,5\text{ liter}$  pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air sampai mencapai titik didihnya dan anggaplah tidak ada panas yang hilang dalam pemanasannya. Diketahui panas jenis air  $4,186\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ , massa satu liter air adalah satu kilogram dan panas jenis aluminium  $0,9\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $559,2\text{ kJ}$

12. Sejumlah pegas mempunyai massa total  $250\text{ gr}$ , dipanaskan didalam sebuah dapur pemanas untuk melaksanakan tempering pada temperatur  $350^{\circ}\text{C}$ . Apabila pegas tersebut mempunyai

temperatur mula-mula  $26^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk pemanasan didalam dapur. Untuk menyelesaikan soal ini, ambil harga panas jenis baja  $0,5 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $40,5 \text{ kJ}$

13. Sebongkah baja cor massanya  $160 \text{ kg}$  dan dipanaskan dari temperatur mula-mula  $30^{\circ}\text{C}$  menjadi  $900^{\circ}\text{C}$  untuk annealing proses. Diketahui panas jenis baja  $0,5 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ , hitunglah panas yang diserap oleh baja tersebut. Kunci Jawab  $6960 \text{ KJ}$
14. Sebuah mesin uap tiap jam mengubah  $1000 \text{ kg}$  air menjadi uap. Berapa kg arang batu bara diperlukan tiap hari ( $24 \text{ jam}$ ) dalam proses seperti ini. Harga kalor pembakaran arang batubara  $3013,9 \text{ kJ/kg}$  dan harga kalor uap air  $2247,9 \text{ kJ/kg}$ .

Kunci jawaban  $1790 \text{ kg}$

15. Sebuah alat pemanas listrik  $100 \text{ watt}$  untuk menaikkan temperatur  $40 \text{ gr}$  air dari  $25^{\circ}\text{C}$  sampai titik didihnya. Berapa waktu yang diperlukan untuk maksud tersebut.

Kunci jawaban  $126 \text{ detik}$  atau  $2,1 \text{ menit}$

## BAB IV

### PERUBAHAN WUJUD

Perubahan temperatur sampai pada batas-batas tertentu akan menyebabkan terjadi perubahan wujud suatu benda. Jadi pemberian atau pengambilan panas tidak lagi menaikkan atau menurunkan temperatur benda, misalnya : air menjadi es, air menjadi gas atau sebaliknya. (Jogoanlie. 1965 ; hal. 92).

Dalam keadaan padat suatu benda mempunyai bentuk dan volume tertentu sesuai dengan keadaan temperaturnya, bila dikerjakan panas pada benda tersebut, maka akan terjadi pemuaian. Pada zat cair yang dipanaskan, zat akan kehilangan bentuknya tetapi tetap mempunyai volume tertentu. Gas akan kehilangan bentuknya dan volumenya akan mengisi ruangan dimana dia berada.

Setiap benda mempunyai perbedaan keadaan dalam perubahan wujud dan temperaturnya, bila suatu benda berubah bentuk, maka perubahan akan terjadi dari padat menjadi cair atau cair menjadi gas (uap). Dalam hal ini energi panas harus diberikan untuk perubahannya. Sebaliknya bila perubahan dari uap menjadi cair atau cair menjadi padat, maka panas dikeluarkan.

Pada waktu perubahan wujud terjadi, maka temperatur akan tetap, walaupun energi panas tetap diberikan. Energi panas yang diserap untuk perubahan wujud ini disebut panas laten. Apabila jumlah panas yang diserap dalam bentuk wujud tetap, tetapi terjadi perubahan temperatur disebut panas sensibel.

#### A. Panas Sensibel

Jumlah energi panas yang dipakai untuk menaikkan atau menurunkan temperatur suatu benda disebut panas sensibel. Nama ini diberikan karena pengaruh panas tersebut dapat langsung dirasakan. Jadi panas itu merupakan suatu bentuk energi yang dapat dipindahkan atau diubah, maka pengaruh yang disebabkan terhadap suatu benda dapat dirasakan langsung, terutama dengan menggunakan alat termometer, sehingga kenaikan

temperatur dapat diukur.

Panas sensibel ini dapat dicari harganya dengan menggunakan persamaan:

$$Q = m \times C \times \Delta t \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

dimana :  $Q$  = panas sensibel (Joule)

$m$  = massa (kg)

$C$  = panas jenis ( $J/kg^{\circ}C$ )

$\Delta t$  = perubahan temperatur ( $^{\circ}C$ )

## B. Panas Laten

Energi panas yang mengalir pada suatu benda selama temperatur benda itu tetap disebut panas laten, hal ini terus berlangsung selama perubahan keadaan benda terjadi.

Ada dua jenis panas laten :

### a. Panas Laten Peleburan

yaitu jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk perubahan wujud dari zat padat ke zat cair.

### b. Panas Laten Penguapan

yaitu jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk perubahan wujud dari cair menjadi gas.

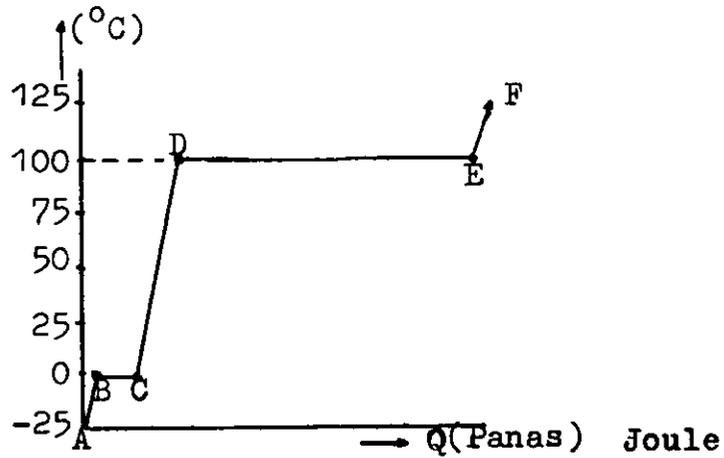
Istilah peleburan dapat digunakan untuk perubahan wujud dari padat ke cair atau dari cair ke padat atau diistilahkan juga dengan pembekuan dan pencairan. Pencairan yang dimaksud adalah pelelehan yang terjadi pada temperatur tertentu yang disebut dengan melting point (titik leleh) atau yang sebaliknya merupakan titik beku.

Kemudian istilah penguapan merupakan perubahan wujud dari cair menjadi gas (uap) atau dari gas menjadi cair. Uap adalah gas dari suatu bahan yang berubah dari cair pada temperatur normal dan tekanan atmosfer.

Bila wujudnya langsung berubah dari padat menjadi gas tanpa mengalami wujud cair pada proses perubahannya, disebut sublimasi, misalnya kapur barus, Naptalin dan lain-lain.

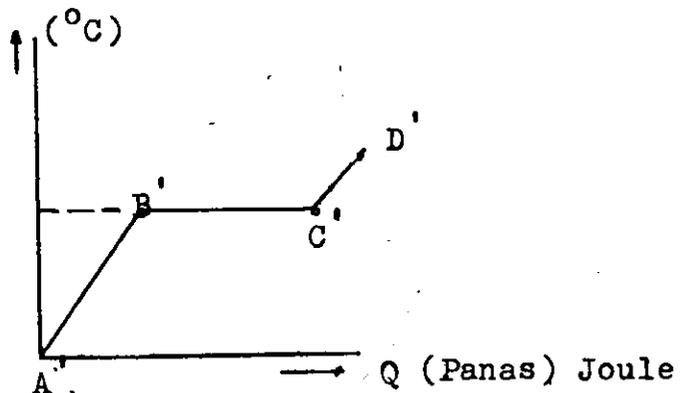
Berikut ini akan dijelaskan secara skematis peristiwa perubahan wujud dengan temperatur  $t$  sebagai fungsi dari jumlah panas  $Q$ , sepanjang garis-garis itu terdapat wujud-wujud

zat yang merupakan campuran dari wujud-wujud zat itu sendiri (Jogoanlie. 1965;hal.92).



Gambar : (IV-1). Hubungan temperatur  $t$  dengan jumlah panas  $Q$  pada perubahan wujud.

- AB = wujud padat
- CD = wujud cair
- EF = wujud uap atau gas
- BC = wujud padat dan cair
- DE = wujud cair dan uap



Gambar : (IV-2). Hubungan temperatur  $t$  dan jumlah panas  $Q$  pada perubahan wujud padat dan gas secara Sublimasi.

- A' B' = wujud padat
- C' D' = wujud uap atau gas
- B' C' = wujud padat dan uap

Selama perunahan wujud berlangsung pada keadaan yang tetap, dimana temperaturnya tetap dan temperatur ini disebut

- BC = proses lebur
- CB = proses beku
- DE = proses didih (uap)
- ED = proses embun
- B'C' = proses sublimasi

Untuk gambar (IV-1) kita misalkan untuk perubahan wujud es menjadi air dan dari air menjadi uap, bila panas diberikan pada tekanan normal. Temperatur es mula-mula adalah  $-25^{\circ}\text{C}$ .

- AB panas diserap sebagai panas sensibel dari  $-25^{\circ}\text{C}$  sampai  $0^{\circ}\text{C}$  (titik lebur es).
- BC panas diserap sebagai panas laten peleburan, proses wujud dari es menjadi air.
- CD panas sensibel diberikan untuk menaikkan temperatur dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  (titik didih air).
- DE panas diberikan untuk merubah air menjadi uap pada temperatur tetap ( $100^{\circ}\text{C}$ ), disebut panas laten penguapan.
- EF proses akhir uap menguap sebagai panas sensibel dan temperatur naik diatas  $100^{\circ}\text{C}$ . Dalam tahap ini uap disebut super heated (panas lanjut).

Sebagai mana telah didefinisikan bahwa panas laten peleburan suatu benda adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah 1 kilogram benda dari padat menjadi cair atau sebaliknya pada temperatur titik cair, tanpa merubah temperatur dan tekanan, misalnya 1 kg es pada  $0^{\circ}\text{C}$  tekanan 1 atmosfer dibutuhkan panas 335 kJ. Berarti untuk merubah 1 kg es menjadi air dibutuhkan 335 kJ pada temperatur dan tekanan tetap. Sedangkan panas jenis laten penguapan suatu benda, merupakan jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk merubah 1 kg bahan cair menjadi gas (uap) atau sebaliknya pada titik didihnya tanpa perubahan temperatur dan tekanan.

Panas jenis laten (specific laten heat) disimbulkan dengan  $L$ , dengan satuan Joule/kg (lihat tabel berikut)

Tabel : Panas jenis laten pada tekanan normal

Bahan	Titik cair °C	Panas Laten Lebur. kJ/kg	Titik Didih °C	Panas Laten Penguapan kJ/kg
Ethil Alkohol	-114	104,65	78	853,94
Air	0	334,88	100	2260,44
Bismuth	271	52,33	920	795,34
Brom	-7	66,98	60	180,00
Timah hitam	330	24,70	1170	732,55
Besi	1539	272,09	3000	6781,32
Air raksa	-39	11,72	359	297,21
Nitrogen	-210	25,53	-96	200,93
Hidrogen	-259	62,79	-253	446,65
Oksigen	-219	13,81	-183	213,49
Seng	420	100,46	918	1988,35
Tembaga	1083	211,81	2595	7367,36

Sumber : The Foundations Of Physics

Energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah wujud bahan dari padat menjadi cair atau cair menjadi gas atau sebaliknya adalah :

$$Q = m \times L \quad (\text{kilo Joule}) \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

dimana :

- $Q$  = Jumlah energi panas (kilo Joule)
- $m$  = massa bahan (kilogram)
- $L$  = panas jenis laten ( kJ/kg

### C. Panas Laten Pada Pencampuran Panas

Pencampuran panas melewati perubahan wujud akan mengoreksi hasil temperatur akhir, misalnya pencampuran panas dalam perubahan temperaturnya dari  $t_1$  ke  $t$  melewati titik transformasi (titik kritis)  $t_L$ , maka massa  $m_1$  yang mempunyai panas jenis laten  $L_1$ , akan mengubah jumlah energi panas  $Q_1$  menjadi :

$$Q_1 = m_1 C_{1I} (t_L - t_1) + m_1 C_{1II} (t - t_L) + m_1 L_1$$

dimana :  $C_{1I}$  dan  $C_{1II}$  merupakan panas jenis dari  $m_1$  sebelum dan sesudah perubahan wujud.

Sedangkan panas diberikan oleh benda kedua  $m_2$ , apabila  $t_2 > t_1$ , maka

$$Q_2 = m_2 C_2 (t_2 - t)$$

dari kekekalan energi panas diketahui  $Q_1 = Q_2$

$$t = \frac{m_1 \cdot C_{1I} \cdot t_1 + m_2 \cdot C_2 \cdot t_2 - m_1(C_{1I} - C_{1II}) - m_1 L_1}{m_1 \cdot C_{1II} + m_2 C_2} \quad (4-3)$$

Perhitungan panas dengan sendiri perlu dilakukan pada bagian demi bagian, yaitu pada bagian sebelum perubahan wujud, selama perubahan wujud dan sesudah perubahan wujud, dan berdasarkan pokok kekekalan energi panas, jika tidak pertukaran panas dengan luar sistim.

#### Contoh Soal

1. Hitunglah jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk mencairkan 100 gram emas bila temeparatur awalnya  $20^\circ\text{C}$ . Diketahui panas jenis emas  $134 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ , titik cair  $1063^\circ\text{C}$  dan panas jenis latennya  $67 \text{ kJ/kg}$ .

#### Penyelesaian

Panas yang dibutuhkan = Panas sensibel, untuk menaikkan menaikkan temperatur emes dari  $20^\circ\text{C}$  menjadi  $1063^\circ\text{C}$  +

Panas laten perubahan bentuk ke cair.

$$\begin{aligned}
 Q &= m \cdot C (t-t_0) + m \cdot L \\
 &= 0,1 \cdot 134 (1063 - 20) + 0,1 \cdot 67000 \\
 &= 13976 + 6700 = 20676 \text{ Joule} \\
 &= 20,676 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

2. Aluminium memiliki panas jenis  $0,9 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  dan titik lebur  $660^\circ\text{C}$  dan memiliki panas laten peleburan  $389 \text{ kJ/kg}$ . Hitunglah energi panas yang dibutuhkan untuk mencairkan  $10 \text{ kg}$  dari aluminium pada temperatur kamar  $20^\circ\text{C}$ .

Penyelesaian

Panas sensibel yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= m \cdot C \cdot \Delta t \\
 &= 10 \cdot 0,9 (660 - 20) \\
 &= 5760 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Panas laten yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= m \times L_p \\
 &= 10 \times 387 \\
 &= 3870 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Jumlah energi panas yang dibutuhkan adalah  $Q_1 + Q_2 =$

$$5760 + 3860 = 9630 \text{ kJ}$$

3. Berapa kg es pada temperatur  $-10^\circ\text{C}$  dicampurkan pada  $0,5 \text{ kg}$  air pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  supaya temperatur akhir dari campuran  $0^\circ\text{C}$ . Panas jenis air  $4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ , panas jenis es  $2,1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  dan panas laten peleburan es  $335 \text{ kJ/kg}$ .

Penyelesaian

Panas sensibel yang dibutuhkan es dari  $-10^\circ\text{C}$  menjadi  $0^\circ\text{C}$  adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= m_{\text{es}} \cdot C_{\text{es}} \cdot \Delta t \\
 &= m_{\text{es}} \cdot 2,1 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (0 - (-10)) \\
 &= m_{\text{es}} \cdot 21 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Panas laten yang dibutuhkan untuk merubah es menjadi titik cair es pada  $0^{\circ}\text{C}$ .

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= m_{\text{es}} \cdot L_{\text{es}} \\
 &= m_{\text{es}} \cdot 335 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Panas sensibel yang diberikan oleh air dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $0^{\circ}\text{C}$ .

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= m_{\text{air}} \cdot C_{\text{air}} \cdot \Delta t \\
 &= 0,5 \text{ kg} \cdot 4,2 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (20-0) \\
 &= 42 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Panas yang diberikan = Panas yang diterima

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= Q_1 + Q_2 \\
 42 \text{ kJ} &= m_{\text{es}} (21 + 335) \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa es} = 42/356 = 0,118 \text{ kg.}$$

#### D. Soal Latihan

1. Berapa jumlah energi panas dibutuhkan untuk merubah es pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi uap pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$ , diketahui panas laten peleburan  $335 \text{ kJ/kg}$ .

Kunci jawaban  $753,6 \text{ kJ}$

2. Berapa jumlah massa uap pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  dibutuhkan untuk merubah  $0,5 \text{ kg}$  es pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $0^{\circ}\text{C}$ , diketahui panas laten lebur es  $335 \text{ kJ/kg}$  dan panas laten uap  $2260 \text{ kJ/kg}$ .

Kunci jawaban  $0,06 \text{ kg}$ .

3. 5 kg batang besi menerima energi panas untuk mencapai temperatur  $1000^{\circ}\text{C}$ , kemudian dicelupkan kedalam ember berisi 10 kg air pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ . Berapa banyak uap dihasilkan, jika panas yang diterima ember diabaikan dan panas jenis besi  $0,46 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $0,17 \text{ kg}$ .

4. Hitunglah energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah air 20 kg dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi uap pada  $200^{\circ}\text{C}$ , yang prosesnya terjadi di dalam tekanan atmosfer. Diketahui panas laten penguapan  $2260 \text{ kJ/kg}$  dan panas jenis air  $4,186 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  dan panas jenis uap  $2,1 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $56104 \text{ kJ}$

5. Sejumlah uap pada tekanan atmosfer dan mempunyai derajat kekeringan 0,9 memasuki sebuah kondensier dengan aliran sebanyak 2000 kg/jam dan keluar sebagai air pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$ . Anggaplah tidak terjadi perubahan tekanan selama terjadi perubahan wujud. Hitunglah jumlah energi panas yang dilepaskan oleh uap setiap jamnya.

Kunci jawaban  $4487000 \text{ kJ/Jam}$

6. Sebuah komponen baja mempunyai massa 2 kg disepuh dengan pemanasan pada temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  dan dicelupkan ke dalam minyak. Temperatur mula-mula minyak  $30^{\circ}\text{C}$ , panas yang diterima bak minyak dan sekelilingnya diabaikan. Hitunglah massa minyak yang diperlukan agar temperatur akhir yang dicapai  $50^{\circ}\text{C}$ . Panas jenis baja  $0,5 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  dan panas jenis minyak  $1,55 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $24,2 \text{ kg}$

7. Sebuah alat pemanas listrik dari 50 watt dipakai untuk melebur 1 kg es. Jika kalor lebur es  $335 \text{ kJ/kg}$ , hitunglah waktu untuk melebur itu semua.

Kunci jawaban  $6700 \text{ detik}$ ,

8. Sebuah timah hitam massanya 100 kg harus dituang dengan

mencairkan pada temperatur  $327^{\circ}\text{C}$ , penuangan dilakukan pada sebungkah baja yang massanya 10 kg dan temperatur awal  $40^{\circ}\text{C}$ . Kalau tidak terjadi kehilangan panas ke sekelilingnya dan timah hitam membeku pada temperatur titik cairnya serta temperatur baja menjadi  $327^{\circ}\text{C}$ . Hitung massa timah hitam yang mengalami perubahan tersebut. Diketahui panas laten timah hitam  $24,5 \text{ kJ/kg}$  dan panas jenis baja  $0,5 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban 58,57 kg.

9. Suatu dapur listrik daya rata-ratanya 5 kW dan mempunyai efisiensi 75 %. Hitunglah waktu yang diperlukan oleh dapur untuk mencairkan 10 kg tembaga, apabila temperatur dapur mula-mula adalah  $30^{\circ}\text{C}$ , panas jenisnya  $0,4 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ , titik cairnya  $1083^{\circ}\text{C}$  dan panas laten leburnya  $180 \text{ kJ/kg}$ .

Kunci jawaban 1603 detik

10. Hitunglah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 20 kg timah putih dari  $22^{\circ}\text{C}$  menjadi  $242^{\circ}\text{C}$ , apabila panas latennya  $62 \text{ kJ/kg}$ . Titik leburnya  $232^{\circ}\text{C}$ , panas jenisnya  $0,23 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  bila padat dan  $0,27 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  bila mencair.

Kunci jawaban 2260 kJ.

11. Energi panas sebanyak 903 Joule dipakai untuk memanasi 2,5 gram es dari  $0^{\circ}\text{C}$ , panas laten peleburan es  $335 \text{ kJ/kg}$ . Hitunglah temperatur akhirnya.

Kunci jawaban  $6,2^{\circ}\text{C}$ .

12. Es pada temperatur  $-10^{\circ}\text{C}$  dengan massa 0,045 kg dimasukkan ke dalam cangkir yang berisi 0,3 kg teh. Jika panas yang diterima cangkir diabaikan dan panas jenis air sama dengan teh. Hitunglah temperatur akhir.

Kunci jawaban  $15^{\circ}\text{C}$ .

13. Sebuah bola besi (panas jenis besi  $0,5 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ ) yang

massanya 150 gr dan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  dimasukkan dalam sebuah lobang di dalam balok es pada  $0^{\circ}\text{C}$ . Jika kalor lebur es  $335\text{ kJ/kg}$ , maka banyaknya air yang akan terdapat di dalam lobang itu.

Kunci jawaban 22,4 gr.

14. Sebuah bejana aluminium (panas jenisnya  $0,92\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ ) yang massanya 900 gram berisi air 9 kg pada temperatur  $21^{\circ}\text{C}$ . Untuk mendinginkan air itu menjadi  $10^{\circ}\text{C}$ , maka didalam air harus dimasukkan es (panas laten lebur  $335\text{ kJ/kg}$ ) yang temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ , sebanyak.

Kunci jawaban 1,26 kg.

## BAB V

### PEMUAIAN

Ketika terjadi perubahan temperatur suatu benda, maka benda mengalami perubahan, salah satu adalah ukurannya, ini kita kenal dengan istilah pemuaian. (Arthur Beiser. 1964.; 221).

Pada umumnya benda memuai kalau dipanaskan sebaliknya menyusut kalau didinginkan. Pemuaian dapat berlangsung dalam bermacam-macam keadaan, salah satunya pemuaian yang berlangsung pada tekanan tetap. Disini kita akan membicarakan tentang pemuaian yang berlangsung pada keadaan tekanan tetap ini.

Menurut kegunaannya, kita dapat memandang pemuaian pada satu dimensi benda (pemuaian panjang), dua dimensi (luas) dan tiga dimensi (ruang). Dengan mengetahui pemuaian pada satu dimensi, pemuaian-pemuaian pada dua dimensi atau pada tiga dimensi dapat diturunkan darinya. Pada prinsipnya pemuaian panjang suatu benda dapat ditentukan, yaitu mengukur panjang sebelum dan sesudah penambahan temperatur.

Dalam beberapa kasus pemuaian ini dapat mengakibatkan kerugian, apabila pemuaian dipaksakan tidak terjadi dalam suatu benda padat, maka benda tersebut dapat menjadi rusak atau patah, seandainya pemanasannya masih dilanjutkan.

Apabila gas dipanaskan, jika gas terhalang untuk mengembang, maka akibat yang timbul adalah naiknya tekanan pada dinding tabung. Seandainya pemanasan gas masih berlangsung terus, maka tekanan yang diterima oleh dinding tabung akan menjadi besar yang akhirnya dapat menyebabkan tabung pecah.

Kerugian lain yang ditimbulkan oleh perubahan temperatur adalah kurangnya ketelitian dalam pengukuran, sehingga laboratorium metrologi harus diusahakan mempunyai temperatur standart. Apabila hal ini tidak dapat dilakukan, maka akibatnya alat-alat ukur yang ada menjadi tidak teliti lagi.

Disamping segala kerugian tersebut diatas, maka pemuaian dan penyusutan akibat perubahan temperatur memiliki kegunaan pula, misalnya untuk otomatis kontrol pada alat-alat

listrik.

### A. Pemuaian Panjang

Pandanglah suatu benda dengan panjang  $L$ , pada temperatur tertentu  $t$ . Kenaikkan temperatur  $\Delta t$  akan menambah panjang benda sebesar  $\Delta L$ , yang bergantung pada panjang asalnya dan jenis benda itu.

Jika koefisien muai panjang  $\alpha$ , panjang benda mula-mula  $L_0$  dan kenaikkan temperatur  $\Delta t$ , maka pertambahan panjang benda adalah :

$$L = L_0 + \alpha \Delta t \quad (\text{meter}) \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

jika dihitung panjang setelah  $t^\circ\text{C}$  adalah  $L_t$ , yaitu

$$L_t = L_0 + \Delta L$$

$$= L_0 + L_0 \alpha \Delta t$$

$$L_t = L_0 (1 + \alpha \Delta t) \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (5-2)$$

Tabel : Koefisien Muai Panjang

No.	Bahan	Koefisien Muai Panjang $\times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
1.	Aluminium	2,4
2.	Kuningan	1,8
3.	Beton	0,7 - 1,2
4.	Tembaga	1,7
5.	Besi	1,2
6.	Timah Hitam	3,0
7.	Perak	2.0
8.	Steel	1,2

Sumber : The Foundations Of Physics

## Contoh Soal

1. Sebuah rel kereta api terbuat dari baja panjang 20 m pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah panjangnya pada temperatur  $40^{\circ}\text{C}$ , jika koefisien muai panjangnya  $1,27 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ .

## Penyelesaian

$$\begin{aligned} L &= L_0 + \Delta t \\ &= 20 + 1,27 \cdot 10^{-5} (40 - 20) \\ &= 508 \cdot 10^{-5} \text{ m} \\ &= 0,00508 \text{ meter} \end{aligned}$$

## B. Pemuaian Luas

Bila memandang pemuaian dua dimensi, maka akan diperoleh pemuaian luas. Dengan kata lain suatu wujud benda dipanaskan bukan panjangnya saja yang bertambah, tetapi lebarnya juga bertambah. Dalam hal ini kita bicarakan pemuaian luas pada tekanan tetap.

Jika luas permukaan semula  $A_0$  dan luas permukaan setelah dipanaskan  $A_t$ , koefisien muai luas  $\beta$  pada kenaikan temperatur  $\Delta t$ , maka

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta t \quad (\text{m}^2) \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

koefisien muai luas bergantung kepada jenis bahan. Jadi luas setelah  $t^{\circ}\text{C}$  adalah :

$$A_t = A_0 + \Delta A$$

$$A_t = A_0 + A_0 \beta \Delta t$$

$$A_t = A_0(1 + \beta \Delta t) \quad (\text{m}^2) \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

Luas  $A_0$  kita misalkan empat persegi panjang dengan sisi  $a$  dan  $b$ , sehingga :

$$A_0 = a_0 \cdot b_0$$

misalkan pada temperatur  $t$ , panjang sisi-sisi adalah  $a_t$  dan

$b_t$  , maka :

$$A_t = a_t \cdot b_t$$

dari persamaan (5-4), dapat diketahui hubungan antara  $a_0$ ,  $b_0$  dan  $a_t$ ,  $b_t$ , yaitu

$$A_t = a_0 \cdot b_0 (1 + \alpha \Delta t)^2$$

bagi  $\alpha \Delta t \ll \ll 1$ , untuk suku pangkat dua bentuk ini dapat diabaikan, sehingga diperoleh

$$A_t = A_0 (1 + 2\alpha \Delta t) \quad (\text{m}^2) \quad \dots\dots\dots (5-5)$$

jadi  $\beta = 2\alpha$

#### Contoh Soal

1. Pada  $25^\circ\text{C}$  suatu batang baja luas penampang  $1,5 \text{ cm}^2$ , lalu dipanaskan hingga  $525^\circ\text{C}$ . Hitunglah luas penampang baja pada temperatur tersebut, jika diketahui koefisien muai panjang baja  $12 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ .

#### Penyelesaian

$$A_t = A_0 (1 + \beta \Delta t)$$

diketahui :

$$\Delta t = (525 - 25) = 500^\circ\text{C}$$

$$\beta = 2\alpha = 2 \cdot 12 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C} = 24 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

$$A_0 = 1,5 \text{ cm}^2 = 15 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

jadi

$$\begin{aligned} A_t &= 15 \cdot 10^{-5} (1 + (24 \cdot 10^{-6} \cdot 500)) \\ &= 15 \cdot 10^{-5} (1 + 0,012) \\ &= 15,18 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\ &= 1,518 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang baja pada temperatur tersebut adalah  $1,518 \text{ cm}^2$ .

### C. Pemuaian Ruang

Pemuaian tiga dimensi adalah pemuaian ruang. Pada tekanan tetap pemuaian ruang analog dengan pemuaian panjang dan luas.

Jika volume mula-mula  $V_0$ , koefisien muai volume adalah  $\gamma$ , kemudian dipanaskan dengan kenaikan temperatur  $\Delta t$ , maka volume akan bertambah  $\Delta V$ .

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta t \quad (\text{m}^3) \quad \dots\dots\dots (5-6)$$

Jadi volume setelah  $t^\circ\text{C}$  adalah  $V_t$ , yaitu :

$$\begin{aligned} V_t &= V_0 + \Delta V \\ &= V_0 + V_0 \gamma \Delta t \\ V_t &= V_0(1 + \gamma \Delta t) \quad (\text{m}^3) \quad \dots\dots\dots (5-7) \end{aligned}$$

Apabila volume pada temperatur  $t_0$ , kita misalkan sisi-sisinya dengan  $a_0$ ,  $b_0$  dan  $c_0$ , maka

$$V_0 = a_0 \cdot b_0 \cdot c_0$$

Kemudian volume pada temperatur  $t$ , kita misalkan sisi-sisinya dengan  $a_t$ ,  $b_t$  dan  $c_t$ , maka

$$V_t = a_t \cdot b_t \cdot c_t$$

dari persamaan (5-4) dapat diketahui hubungan antara  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $c_0$  dan  $a_t$ ,  $b_t$ ,  $c_t$ , yaitu

$$V_t = V_0(1 + \gamma \Delta t)^3$$

bagi  $\gamma \Delta t \lll 1$ , suku-suku dengan pangkat dua dan tiga dapat diabaikan, sehingga :

$$V_t = V_0(1 + 3\gamma \Delta t)$$

jadi  $\gamma = 3\alpha$

#### Contoh Soal

1. Hitunglah volume air yang tertumpah dari sebuah Pyrex beaker, bila Pyrex beaker diisi penuh dengan air sebanyak

250 cm<sup>3</sup> pada temperatur 20°C dipanaskan sampai temperatur 60°C. Jika koefisien muai ruang air  $2,1 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  dan koefisien muai ruang Pyrex Beaker  $0,09 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ .

Penyelesaian

Anggap volume mula-mula air = volume mula Pyrex Beaker.

$$\begin{aligned}\Delta V_b &= V_b \gamma \Delta t = 0,09 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot (60 - 20) \\ &= 0,09 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

Perubahan volume air

$$\begin{aligned}\Delta V_a &= V_a \gamma \Delta t = 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot (60 - 20) \\ &= 2,1 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Jadi volume air yang tertumpah adalah :

$$2,1 - 0,09 = 2,01 \text{ cm}^3.$$

#### D. Massa Jenis Pada Pemuaian Ruang

Massa suatu benda adalah kekal, sehingga perubahan volume akibat pemuaian akan mempengaruhi massa jenis benda itu. Untuk benda dengan massa  $m$ , dan volume-volumenya  $V_t$  dan  $V_0$  pada temperatur  $t$  dan  $0^{\circ}\text{C}$ , akan mempunyai masa jenis masing-masing, yaitu :

$$\rho_t = m/V_t$$

dan

$$\rho_0 = m/V_0$$

Dengan pemuaian volume, maka dari kedua harga itu dapat ditentukan :

$$V_t \cdot \rho_t = V_0 \cdot \rho_0$$

$$V_0 (1 + \gamma \Delta t) \cdot \rho_t = V_0 \cdot \rho_0$$

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \gamma \Delta t} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \dots \dots \dots (5-8)$$

Jumlah ...  
Page 1

## Contoh Soal

1. Massa jenis aluminium pada  $20^{\circ}\text{C}$  adalah  $2699 \text{ kg/m}^3$ . Hitunglah massa jenis aluminium pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$ , koefisien aluminium  $2,4 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ .

## Penyelesaian

$$\text{Dari persamaan : } \rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \gamma \Delta t}$$

$$\text{dimana } \gamma = 3 \alpha = 3 \times 2,4 \cdot 10^{-5} = 7,2 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}.$$

$$\begin{aligned} \rho_t &= \frac{2699}{1 + 7,2 \times 10^{-5} (100 - 20)} \\ &= \frac{2699}{1,00576} \\ &= 2683,54 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Jadi massa jenis pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  adalah  $2683,54 \text{ kg/m}^3$ .

## E. Tekanan Dan Tegangan Thermis Pada Pemuaian

Apabila suatu batang dipasang diantara dua buah patokan yang tetap, maka pemuaian atau pengerutan yang terjadi sebagai akibat perubahan temperatur tidak mengubah panjang batang itu. Tetapi dalam batang tersebut akan timbul tekanan atau tegangan yang disebut **tekanan** atau tegangan thermis.

Jika patokan itu tidak ada, perubahan temperatur sebesar  $\Delta t$ , akan menyebabkan perubahan panjang :

$$L = L_0 \alpha \Delta t$$

Kemudian perubahan panjang kita anggap terjadi, tetapi karena tekanan atau tegangan mekanis pada batang itu agar kembali kepada panjang semula. Menurut definisi Modulus Young atau modulus elastisitas dari mekanika, maka pertambahan panjang akan terjadi sebesar

$$\Delta L = \frac{L_0 \cdot F}{A} \quad (\text{Arthur Beiser. 1964;hal 145}).$$

dimana :

$L_0$  = panjang batang mula-mula (m)

$\Delta L$  = pertambahan panjang (m)

$F$  = gaya tekan atau tarik (Newton)

$E$  = modulus Young atau modulus Elastisitas ( $N/m^2$ ).

$A$  = Luas penampang batang ( $m^2$ )

Jika  $P = F/A$  (tekanan atau tegangan) , sehingga tekanan atau tegangan dalam batang dapat ditentukan :

$$L_0 \cdot \Delta t = \frac{L_0 \cdot P}{E}$$

$$P = E \Delta t \quad N/m^2 \quad \dots\dots\dots (5-9)$$

Tabel : Modulus Young

No.	Bahan	Modulus Young $\times 10^{10} N/m^2$
1.	Aluminium	7,0
2.	Kuningan	9,1
3.	Tembaga	11
4.	Gelas	5,5
5.	Besi	9,1
6.	Timah hitam	1,6
7.	Nikel	21
8.	Steel	20

Sumber : The Foundations Of Physics

## Contoh Soal

1. Luas penampang sebatang baja  $10 \text{ cm}^2$ , berapa gaya yang diperlukan untuk menahan batang baja agar jangan sampai ada penyusutan pada waktu didinginkan dari  $250^\circ\text{C}$  menjadi  $50^\circ\text{C}$ .

## Penyelesaian

Diketahui :

$$E = 20 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2.$$

$$A = 10 \text{ cm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$$

dari persamaan n

$$\begin{aligned} P &= E \alpha \Delta t \\ &= 10^{-3} \times 20 \cdot 10^{10} \times 1,2 \cdot 10^{-5} (250 - 50) \\ &= 48 \times 10^4 \text{ Newton} \end{aligned}$$

## F. Soal Latihan

1. Sebuah batang logam yang panjangnya 6 meter dipanasi dari  $20^\circ\text{C}$  sampai  $70^\circ\text{C}$ . Apabila koefisien muai panjang logam tersebut  $12 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , berapa bertambahnya panjang batang tersebut.

Kunci jawaban 0,0036 m.

2. Panjang batang aluminium pada  $0^\circ\text{C}$  adalah 1 meter. Jika koefisien muai panjang aluminium  $0,000024/^\circ\text{C}$ . Hitunglah panjang batang pada  $100^\circ\text{C}$ .

Kunci jawaban 1,0024 meter

3. Sebatang besi yang panjang 15 meter dan luas penampang lintang  $40 \text{ cm}^2$ , temperatur naik dari  $10^\circ\text{C}$  menjadi  $30^\circ\text{C}$ . Jika koefisien muai panjang besi  $0,000012/^\circ\text{C}$  dan modulus Young  $9,1 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ . Berapa besarnya gaya yang



yang dihasilkan pada pemuaian itu.

Kunci jawaban 87360 Newton.

4. Palang baja panjangnya 100 cm dipanaskan dari  $5^{\circ}\text{C}$  sampai  $25^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah pertambahan panjang palang baja, diketahui koefisien muai panjang baja  $1,27 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban 0,000254 meter.

5. Diameter dari sebuah roda 1 meter. Sebuah ban besi mempunyai diameter roda sebelah dalam 0,992 meter pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah sampai temperatur berapa ban besi dipanaskan supaya sekedar terpasang pada roda.

Kunci jawaban  $692^{\circ}\text{C}$ .

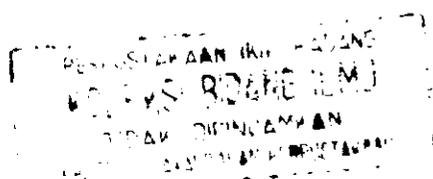
6. Luas permukaan sebuah benda padat, bila dinaikkan temperatur akan bertambah luasnya menurut persamaan  $\Delta A = 2 \alpha A \Delta t$ . Hitunglah pertambahan luas persegi panjang plat baja  $(0,5 \times 2,5) \text{ m}^2$ , jika temperatur dinaikkan dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ , diketahui koefisien muai panjang baja  $1,27 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $0,00127 \text{ m}^2$

7. Dalam suatu percobaan untuk menentukan koefisien pemuaian panjang dari sebatang kuningan, uap dialirkan melewati sebuah tabung kuningan. Pemuaian sebesar 0,75 mm dari batang kuningan sepanjang 0,5 m yang temperatur mula-mula  $20^{\circ}\text{C}$ . Anggaplah bahwa temperatur tabungnya sama dengan  $100^{\circ}\text{C}$ , ketika pemuaian terukur dibaca. Hitunglah koefisien pemuaian panjang dari kuningan tersebut.

Kunci jawaban  $18,75 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

8. Sebuah poros bubut dari baja yang berputar pada sebuah bantalan dari perunggu. Diameter untuk porosnya adalah 100 mm dan dipasang pada temperatur kamar sebesar  $20^{\circ}\text{C}$ , kelonggaran diameternya adalah 0,08 mm. Koefisien muai panjang untuk baja adalah  $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  dan perunggu adalah  $19 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .



Hitunglah :

- a. Kelonggaran diameternya pada temperatur kerja normalnya yaitu  $70^{\circ}\text{C}$  .
- b. Temperatur berapa harus dicapai agar tidak ada kelonggaran lagi.

Kunci jawaban : a.  $0,12\text{ mm}$  dan b.  $-80^{\circ}\text{C}$

9. Sebuah pelapis tipis dari kuningan, dipakai didalam sebuah silinder, berdiameter  $80\text{ mm}$  pada  $15^{\circ}\text{C}$ . Dalam usaha untuk membubut bagian luarnya, maka silinder ini harus dipasangkan kedalam modul dengan diameter  $80,1\text{ mm}$  pada temperatur  $15^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah temperatur berapa silinder kuningan ini harus dipanaskan, sehingga dapat pas dipasangkan pada modulnya. Jika diketahui pemuaian linear kuningan adalah  $18,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $81,5^{\circ}\text{C}$

10. Suatu bantalan dari kuningan berdiameter  $100\text{ mm}$  harus dipasangkan pada suatu poros baja berdiameter  $100,4\text{ mm}$ , keduanya diukur pada temperatur  $16^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah sampai temperatur berapa bantalan tersebut harus dipasangkan sampai poros dapat masuk secara mudah, karena berkelonggaran  $0,1\text{ mm}$ , ambali koefisien muai panjang kuningan adalah  $18,9 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

Kunci jawaban  $280,5^{\circ}\text{C}$ .

11. Sebuah bola yang terbuat dari aluminium dipanasi dari  $0^{\circ}\text{C}$  samapai  $200^{\circ}\text{C}$ . Jika jari-jari bola itu  $5\text{ cm}$  dan koefisien muai panjang aluminium  $0,000024/^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah perubahan volume bola itu.

Kunci jawaban  $7,5\text{ cm}^3$

12. Sebuah bejana kaca pada  $0^{\circ}\text{C}$  terisi penuh dengan  $100\text{ cm}^3$  air raksa. Jika koefisien muai panjang kaca  $0,000009/^{\circ}\text{C}$  dan koefisien muai volume air raksa  $0,00018/^{\circ}\text{C}$ , berapa

$\text{cm}^3$  air raksa yang tertumpah dari bejana kaca kalau temperatur dinaikkan menjadi  $30^\circ\text{C}$ .

Kunci jawaban  $0,459 \text{ cm}^3$

13. Sebuah Pyrex beaker diisi penuh dengan  $250 \text{ cm}^3$  Gliserin pada temperatur  $15^\circ\text{C}$ . Hitunglah Gliserin yang tertumpah pada temperatur  $25^\circ\text{C}$ , diketahui koefisien muai ruang Gliserin  $5,1 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$  dan Pyrex beaker  $0,09 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$ .

Kunci jawaban  $1,27 \text{ cm}^3$

## BAB VI

### PERPINDAHAN PANAS

Panas dapat berpindah dari tempat yang bertemperatur lebih tinggi ke tempat yang bertemperatur lebih rendah. Jadi pemberian atau pengurangan panas tidak saja mengubah temperatur atau wujud zat suatu benda, melainkan panas juga merambat dari suatu benda ke benda lain, peristiwa ini disebut perpindahan panas.

Perpindahan energi panas dapat terjadi dengan tiga cara, yaitu : konduksi atau hantaran, konveksi atau aliran dan radiasi atau pancaran. (Sutrisno dan Tan Ik Gie.1979;hal 229).

perpindahan panas itu. Kalau kita menganggap perpindahan panas berlangsung secara mengalir analogi dengan aliran listrik atau aliran fluida, maka aliran panas ini kita namakan arus panas. Arus panas adalah sebagai jumlah energi panas persatuan waktu atau daya panas melalui penampang tegak lurus kepada arah arus, yaitu :

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{Joule/detik (Watt)} \dots\dots (6-1)$$

dengan  $\Delta t$  sebagai waktu perpindahan panas yang dipandang.

Perpindahan panas dapat kita ketahui melalui perubahan temperatur, oleh karenanya perlu diketahui hubungan antara arus panas dengan perubahan atau perbedaan temperatur.

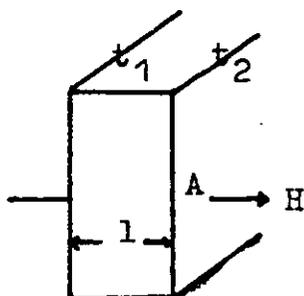
#### A. Konduksi

Energi panas dalam suatu benda dapat mengalir dari bagian yang bertemperatur lebih tinggi melalui benda itu ke bagian yang bertemperatur lebih rendah. Zat dari benda yang dilalui panas ini sendiri tidak mengalir. Perpindahan panas secara ini kita sebut konduksi panas.

Konduksi panas ini bergantung kepada zat yang dilaluinya dan juga pada perbedaan temperatur dari bagian-bagian benda. Berlangsung konduksi panas melalui benda dapat dike-

tahui pada perubahan temperatur yang terjadi. Adakala konduksi panas ini digunakan sebagai dasar untuk mendefinisikan perbedaan atau persamaan temperatur. Maksudnya jika pada dua benda berhubungan, ternyata panas mengalir dari benda yang pertama ke benda yang kedua, maka berdasarkan definisi temperatur benda pertama lebih tinggi dari pada temperatur benda kedua. Bila tidak ada panas yang mengalir, maka temperatur kedua benda sama.

Pada gambar (VI-1), terlihat suatu keping datar plan paralel dengan luas kedua permukaan bidang yang berhadapan adalah  $A$  dan masing-masing mempunyai temperatur tetap  $t_1$  dan  $t_2$  ( $t_1 > t_2$ ). Tebal keping adalah  $l$  dan arus panas  $H$  mengalir dari  $t_1$  ke  $t_2$ . Setelah mencapai keseimbangan, maka menurut hasil eksperimen, arus panas  $H$  berbanding lurus dengan luas penampang yang tegak lurus pada arah arus panas, berbanding lurus dengan beda temperatur tetap itu ( $t_1 - t_2$ ) dan berbanding terbalik dengan panjang jalan yang ditempuh arus panas. Dengan membubuhi suatu faktor pembanding  $k$ , kita peroleh hubungan :



Gambar VI - 1 . Konduksi panas keping plan paralel.

$$H = k A \frac{t_1 - t_2}{l} \dots\dots\dots (6-2)$$

atau

$$H = k A \frac{dt}{dx} \dots\dots\dots (6-3)$$

dimana :

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \text{ arus panas, yaitu banyaknya panas yang melalui bidang penampang keping yang}$$

tegak tiap satuan waktu (Watt).

$A$  = luas penampang tegak ( $m^2$ )

$dt$  = beda temperatur kedua ujung (K)

$k$  = koefisien konduksi termal, bergantung pada jenis zat ( $W/m^{\circ}K$ )

$l$  = tebal keping (m)

$\frac{dt}{dx}$  = faktor gradient temperatur.

Tabel : Koefisien Konduksi Termal

No.	Bahan	Koefisien Konduksi Termal W/mK
1	Tembaga	400
2	Aluminium	210
3	Besi	67
4	Gelas	1,1
5	Batu bara	0,63
6	Air	0,59
7	Alkohol	0,21
8	Kayu	0,17
9	Udara	0,025

Sumber : Physics For Engineers

#### Contoh Soal

1. Sebatang besi panjang 50 cm, berpenampang seluas 2,5 cm, diberi bertangkai kayu yang berpenampang sama sepanjang 20 cm. Diketahui koefisien konduksi kayu 67 W/mK dan koefisien konduksi kayu 0,17 W/mK. Jika ujung besi bertemperatur 1000 K sedangkan kayu bertemperatur 300 K, berapakah

energi panas yang mengalir tiap detik(anggaplah aliran panas telah mencapai harga tetap).

### Penyelesaian

Misalkan temperatur disambungan itu  $T$ , karena aliran kalor tetap, maka :

$$H_{\text{besi}} = H_{\text{kayu}}$$

$$k_1 A_1 \frac{\Delta T_1}{l_1} = k_2 A_2 \frac{\Delta T_2}{l_2}$$

$$67 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \left( \frac{1000 - T}{0,50} \right) = 0,17 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \left( \frac{T - 300}{0,20} \right)$$

$$\frac{6700 - 67 T}{0,50} = \frac{0,17 T - 51}{0,20}$$

$$13400 - 13,4 T = 0,085 T - 25,5$$

$$T = 995,6 \text{ K}$$

$$H = 67 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \left( \frac{1000 - 995,6}{0,50} \right) \\ = 0,147 \text{ Watt}$$

Jadi energi panas yang mengalir tiap detik adalah 0,147W

### B. Konveksi

Panas yang berpindah didalam zat cair dan gas, dimana perpindahan panas tersebut disebabkan oleh fluida itu sendiri yang berpindah disebut konveksi.

Konveksi panas terjadi karena partikel-partikel zat yang bertemperatur lebih tinggi berpindah tempat secara mengalir, sehingga dengan sendirinya terjadi perpindahan panas melalui berpindahan massa. Oleh sebab itu penyelidikan tentang konveksi panas perlu didahului oleh dan berhubungan sangat erat dengan arus fluida.

Aliran fluida dapat berlangsung sendiri sebagai akibat perbedaan massa jenis karena perbedaan temperatur, dapat ju-

ga sebagai akibat paksaan misalnya dengan pompa kompresor, sehingga kita mengenal aliran fluida bebas dan paksaan. Konveksi panas aliran bebas disebut konveksi bebas dan pada aliran paksaan disebut konveksi paksaan. Pada konveksi paksaan sifat-sifat konveksi tentu bergantung kepada bentuk dan cara paksaan itu.

Konveksi panas pada aliran massa ini dapat dipandang sebagai arus panas yang bergantung kepada aliran, juga pada luas penampang  $A$  dan beda temperatur  $t$ , yaitu :

$$H = h A \Delta t \quad (\text{Watt}) \quad \dots\dots\dots (6-4)$$

besaran  $h$  disebut koefisien konveksi, tidak hanya bergantung pada jenis zat alir yang ada diantara kedua buah permukaan, tetapi juga kecepatan zat alir dan letak serta bentuk geometri kedua buah permukaan itu.

Jika ditinjau hanya aliran wajar, yaitu zat mengalir karena beda rapat massa, bukan karena paksaan, didapat harga  $h$  yang masih bergantung pada  $(\Delta t)^{1/4}$ , seperti tercantum pada tabel berikut, untuk keping yang dikelilingi udara pada tekanan 1 atmosfer

Tabel : Koefisien Konveksi

No.	Alat Alat	Koefisien Konveksi(h) (W/m <sup>2</sup> K)
1.	Keping mendatar, menghadap ke atas	2,49 . $(\Delta t)^{1/4}$
2.	Keping mendatar, menghadap ke bawah	1,3 . $(\Delta t)^{1/4}$
3.	Ke ping Vertikal	1,8 . $(\Delta t)^{1/4}$

Sumber : Fisika Dasar (Listrik, Magnet dan Thermo)

### Contoh Soal

1. Temperatur dalam suatu ruang dipertahankan  $27^{\circ}\text{C}$ , temperatur diluar  $12^{\circ}\text{C}$ . Berapakah arus panas yang mengalir lewat kaca jendela tegak, jika kaca itu seluas  $4000\text{ cm}^2$ , setebal  $2\text{ mm}$  dan koefisien konduksi  $0,8\text{ W/mK}$ .

### Penyelesaian

Misalkan dinding kaca bertemperatur  $T_1$  dan dinding luar bertemperatur  $T_2$ , maka

$$\begin{aligned} H_1 &= h A \Delta t \\ &= 1,8 (300\text{K} - T_1)^{1/4} \cdot 0,4 \cdot (300\text{K} - T_1) \\ &= 0,72 (300\text{K} - T_1)^{5/4} \quad \text{konveksi didalam ruang.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_2 &= k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \\ &= 0,8 \cdot 0,4 \cdot \left( \frac{T_1 - T_2}{0,002} \right) \quad \text{konduksi kaca} \end{aligned}$$

$$H_3 = 1,8 \cdot 0,4 (T_2 - 285)^{5/4} \quad \text{Konveksi diluar ruang.}$$

dimana :

$$H_1 = H_2 = H_3$$

karena kaca tipis, maka :

$$T_1 \cong T_2 = 292,5\text{ K}$$

$$\begin{aligned} H_1 &= 1,8 \times 0,4 \times (7,5)^{5/4} \\ &= 8,94 \quad \text{Watt.} \end{aligned}$$

Jadi arus panas yang mengalir lewat kaca jendela tegak adalah  $8,94\text{ Watt}$ .

### C. Radiasi

Ketika proses pemindahan energi panas ini berlangsung dengan jalan radiasi, maka benda-bendanya atau objeknya ti-

tidak saling bersinggungan, misalnya jika tangan ditempelkan diatas radiator, maka panas sampai ditangan secara radiasi.

Radiasi adalah energi panas yang kontinu dari permukaan benda, panas ini juga disebut energi pancar dan berwujud gelombang elektromagnetik yang sifatnya identik dengan gelombang cahaya (Schofield. 1970 ; hal 45).

Panas radiasi ini konstan untuk setiap panjang gelombang, tetapi energi pancar yang dikeluarkan oleh sebuah permukaan persatuan waktu dan persatuan luas tergantung dari sifat permukaan, temperaturnya dan panjang gelombang. Pada temperatur rendah, radiasi itu sedikit.

#### D. Hukum Stefan

Hukum Stefan mengemukakan bahwa total energi pancaran radiasi setiap satuan waktu dan luas benda hitam adalah sebanding dengan temperatur pangkat empat dari permukaan ( Roger Muncaster. 1982; hal 217).

$$E = \sigma T^4 \dots\dots\dots (6-5)$$

Karena benda yang kita jumpai sehari-hari bukan benda hitam, maka tidak sebanyak itulah pancarannya, maka energi pancaran menjadi :

$$E = e \sigma T^4 \dots\dots\dots (6-6)$$

Jika benda itu bertemperatur  $T_1$  sedangkan lingkungannya bertemperatur  $T_2$ , kalau luas permukaan benda itu A, terjadilah arus panas radiasi sebesar

$$H = A e \sigma ( T_1^4 - T_2^4 ) \dots\dots\dots (6-7)$$

dimana :

H = banyak pancaran energi pancar persatuan waktu ( arus panas radiasi ) Waat

$\sigma$  = Konstanta Stefan  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

e = Emisivitas (sifat pemancaran permukaan), harganya terletak antara nol sampai 1.

$A$  = Luas permukaan benda ( $m^2$ ).

$T$  = Temperatur absolut dari permukaan (K)

### Contoh Soal

1. Filament dari sebuah lampu untuk memancarkan arus cahaya membutuhkan 40 W untuk mempertahankan temperatur  $2000^{\circ}\text{C}$ . Berapa watt arus panas diperlukan untuk mempertahankan temperatur  $2200^{\circ}\text{C}$ , panas yang hilang selama konduksi diabaikan.

### Penyelesaian

Misalkan :  $T_2$  = temperatur Filament

$T_1$  = temperatur ruang

maka :

rata-rata arus panas radiasi sebanding dengan

$$(T_2^4 - T_1^4)$$

$$H = A e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

misalkan  $A e \sigma = k$ , dimana  $k$  adalah konstan untuk perbandingan, kemudian  $T_2 > T_1$ , kita bisa mengabaikan  $T_1^4$ .

$$H = k T_2^4$$

jadi

$$H_{40} = k (2273)^4, \quad 40 = k (2273)^4$$

$$k = \frac{40}{(2273)^4}$$

$$H_x = k (2473)^4$$

Arus panas yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} H_x &= \frac{40}{(2273)^4} \times (2473)^4 \\ &= 56 \text{ Watt} \end{aligned}$$

RECEIVED  
MAY 12 1964  
U.S. AIR FORCE  
HEADQUARTERS  
WASHINGTON, D.C.

2. Sebuah bola berjari-jari 10 cm, bertemperatur 1000 K, permukaan mempunyai emisivitas 0,75. Benda disekelilingnya bertemperatur 300 K. Berapa daya yang harus diberikan pada bola itu agar temperaturnya tetap 1000 K. (Anggaplah perpindahan panas hanya melalui radiasi saja).

Penyelesaian

$$\begin{aligned}
 H &= A \epsilon \sigma (T_2^4 - T_1^4) \\
 &= (4 \cdot 10^{-2}) (0,75) \cdot (5,67 \times 10^{-8}) (10^4 - 81) \cdot 10^8 \\
 &= 4,73 \times 10^3 \text{ Watt.}
 \end{aligned}$$

E. Soal Latihan

1. Sebuah jendela rumah terbuat dari kaca mempunyai luas 20 m<sup>2</sup>. Jika tebal kaca 4 mm dan perbedaan temperatur kedua permukaan bidang 1°C. Hitunglah pemindahan panas selama 24 jam, diketahui thermal konduksi 1,05 W/mK.

Kunci jawaban 4,5 x 10<sup>8</sup> Joule.

2. Sebuah dinding tembok luas permukaan 10000 cm<sup>2</sup> dan konduksi thermal 0,63 W/mK. Permukaan yang satu mempunyai temperatur 30°C dan permukaan yang lain 20°C. Berapakah gradient temperatur di dalam tembok dan berapa Joule banyaknya panas yang dihantarkan melalui tiap m<sup>2</sup> dalam waktu satu jam.

Kunci jawaban 0,5 °C/cm dan 113400 Joule

3. Berapa Joulekah energi panas yang dihasilkan dalam 10 menit melalui sebuah plat tembaga yang tebalnya 2 mm dan diameternya 25 cm, apabila kedua permukaannya mempunyai temperatur masing-masing 100°C dan 25°C. Konduksi thermal 400 W/mK.

Kunci jawaban 4,4 x 10<sup>8</sup> Joule

4. Sebuah ruangan pemanas, manusia akan terasa tenteram di-



dalamnya, bila temperatur tubuh  $33^{\circ}\text{C}$  jika temperatur ruangan  $29^{\circ}\text{C}$  dan permukaan tubuh mempunyai luas  $1,5 \text{ m}^2$ . Berapa arus panas konveksi tubuh ke ruangan, diketahui koefisien konveksi  $7,12 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/dt m}^2 \text{ K}$ .

Kunci jawaban  $0,0427 \text{ kJ/dt}$ .

5. Untuk soal 5, temperatur tubuh  $33^{\circ}\text{C} = 306 \text{ K}$  dan temperatur ruangan  $29^{\circ}\text{C} = 302 \text{ K}$ . Jika emisivitas adalah 1 dan luas permukaan tubuh  $1,5 \text{ m}^2$ . Berapa arus panas radiasi.

Kunci jawaban  $39 \text{ W}$

6. Sebuah Kabin dindingnya terbuat dari kayu mempunyai tebal  $0,05 \text{ m}$  dan luas  $12 \text{ m}^2$ . Jika temperatur permukaan dinding  $0^{\circ}\text{C}$  dan permukaan didalamnya  $20^{\circ}\text{C}$ . Berapa pemindahan arus panas pada dinding kabin, diketahui  $k = 0,17 \text{ W/mK}$ .

Kunci jawaban  $816 \text{ W}$ .

7. Berapa arus panas konduksi oleh sebuah batang tembaga yang panjangnya  $4 \text{ m}$  dengan luas penampang silang  $0,015 \text{ m}^2$  jika ujung batang mempunyai temperatur  $250^{\circ}\text{C}$  dan ujung yang lainnya  $40^{\circ}\text{C}$ , diketahui  $k = 400 \text{ W/mK}$ .

Kunci jawaban  $315 \text{ W}$ .

8. Sebuah kaca jendela mempunyai temperatur  $10^{\circ}\text{C}$  dan luas  $1,2 \text{ m}^2$ . Jika udara diluar bertemperatur  $0^{\circ}\text{C}$ . Berapa panas konveksi yang lewat kaca jendela, jika koefisien konveksi  $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Kunci jawaban  $48 \text{ W}$

9. Sebuah bola lampu pijar, berisi filament pijar yang panjangnya  $25 \text{ cm}$  dan diameternya  $0,02 \text{ mm}$ . Berapa daya listrik yang dipancarkan oleh kawat itu, bila dipijarkan pada temperatur  $2500 \text{ K}$ . Tetapan Stefan  $5,7 \cdot 10^{-12} \text{ W/cm}^2(\text{K}^4)$ .

Kunci jawaban  $31,5 \text{ W}$

10. Sebuah dinding batubata tebal  $200 \text{ mm}$  dan tebal plasteran

Berapa waat daya yang mengalir per meter kwadrat, jika temperatur dipermukaan dalam  $20^{\circ}\text{C}$  dan permukaan luar  $0^{\circ}\text{C}$ . Thermal konduksi dari batubata  $3 \cdot 10^{-2}$  W/mK dan plasteran  $3 \cdot 10^{-1}$  W/mK.

Kunci jawaban  $2,97 \text{ Watt/m}^2$ .

11. Sebuah tongkat yang terbuat dari besi, jika luasnya  $1 \text{ cm}^2$  panjang 25 cm, sedangkan ujung yang satu temperaturnya ( $T_2$ )  $125^{\circ}\text{C}$  dan ujung yang lainnya ( $T_1$ )  $0^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah jumlah pemindahan panas per detik, thermal konduksi besi 67 W/mK.

Kunci jawaban 3,35 W.

12. Sebuah filament menyediakan 100 Waat untuk mempertahankan temperatur  $1200^{\circ}\text{C}$ . Berapa temperatur akan dipertahankan dengan 150 Waat.

Kunci jawaban  $1630,1 \text{ K} = 1357,1^{\circ}\text{C}$

## DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, Arthur., The Foundations Physics., London, Addison Wesley Publishing Company, 1964.
- Chaplin, Silvia, and John Keighley., Focus On Physics., London, Pitman Pergamon Press., 1974.
- Jogoanlie., Ilmu Panas., Jakarta, Penerbit Swada, 1965.
- Kane And Sternheim., Physics SI Version., New York, John Wiley and Sons., 1980.
- Muncaster, Roger., A - Level Physics., London, Stanley Thornes., 1982.
- Rayner, J., Basic Engineering Thermodynamics., London, Longman Group Limited, 1977.
- Schofield, Walter., Physics For Engineers., London, Mc Graw-Hill Book Company., 1970.
- Sutrisno dan Tan Ik Gie., Fisika Dasar., Bandung, Penerbit ITB, 1979.