

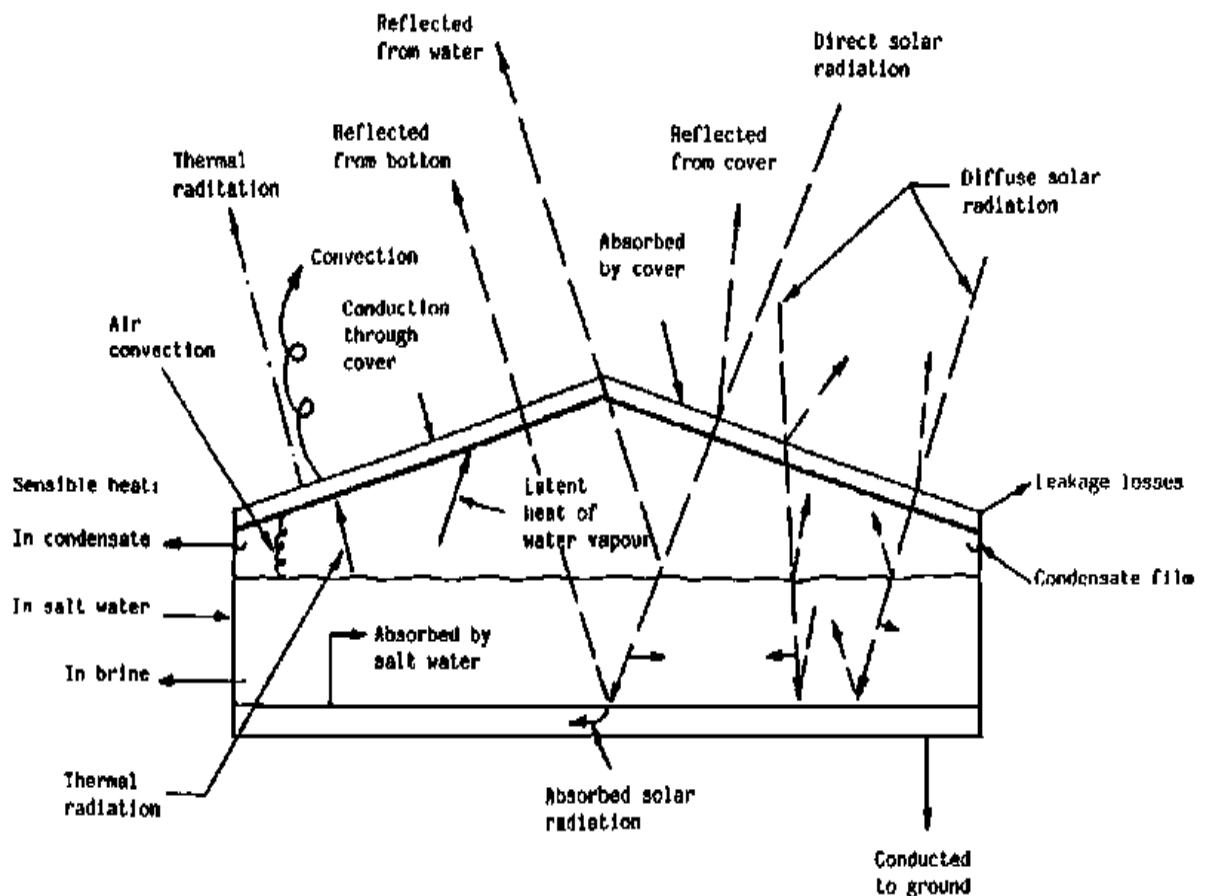
## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Destilasi**

Destilasi adalah suatu proses pemisahan zat cair atau campuran uap air menjadi fraksi komponen murni yang diinginkan yang menggunakan pemanasan (Anlaht, 2003). Destilasi merupakan istilah lain dari penyulingan, yakni proses pemanasan suatu bahan pada bagian temperatur, tanpa kontak dengan udara luar untuk memperoleh hasil tertentu. Penyulingan adalah perubahan bahan dari bentuk cair ke bentuk gas melalui proses pemanasan cairan tersebut, dan kemudian mendinginkan gas hasil pemanasan, untuk selanjutnya mengumpulkan tetesan cairan yang mengembun (Cammack, 2006).

Prinsip dasar penyulingan dengan tenaga matahari adalah sama dengan proses terjadinya hujan. Energi matahari akan memanaskan air sampai pada suhu penguapan. Uap air akan menempel pada permukaan kaca di bagian atas. Pada permukaan kaca yang dingin air akan mengembun dan mengalir ke bawah menuju ke tempat penampungan. Proses ini akan dapat menghilangkan bahan-bahan campuran seperti garam, logam berat serta mampu menghilangkan organisme mikrobiologi. Air yang dihasilkan lebih murni dari air hujan.



**Gambar 2.1** Skema alat penyulingan air bertenaga matahari

Untuk menghasilkan alat penyulingan dengan efisiensi tinggi diperlukan: suhu air yang tinggi, perbedaan suhu yang tinggi antara air masukan dengan permukaan untuk penguapan, dan kebocoran uap air kecil. Suhu air akan tinggi jika sebagian besar radiasi matahari diserap sebagai panas, untuk itu kaca dengan penyerapan panas kecil serta permukaan bawah yang mampu menyerap panas tinggi diperlukan. Perpindahan panas dari lantai dan dinding perlu untuk diminimalkan. Di samping itu permukaan air yang rendah perlu dipertahankan agar lebih cepat menguap. Perbedaan temperatur antara air dengan permukaan kondensasi dapat diperbesar jika, permukaan kondensasi tidak banyak menyerap

radiasi matahari, air yang telah mengembun perlu untuk segera dialirkan dari permukaan kondensasi.

Sebuah alat penyulingan air yang baik akan mempunyai efisiensi sekitar 25%. Keluaran maksimum diperoleh pada sore hari dimana suhu air masih tinggi dan suhu udara luar sudah turun. Pemilihan material sangat penting, penutup dipilih dari material yang mampu meneruskan radiasi matahari tetapi tidak menyerap radiasi itu menjadi panas. Kaca merupakan pilihan yang baik untuk pemakaian jangka panjang, sedangkan plastik dapat digunakan untuk jangka pendek. Lantai beton biasa dipakai untuk area yang besar, sedangkan untuk alat yang kecil, bak bisa dibuat menggunakan logam dengan dilapisi isolator. Beberapa metode yang dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pemanasan antara lain sistem pemanasan berlapis, sistem sumbu, sistem bak bertingkat dan sistem pengumpulan energi matahari.

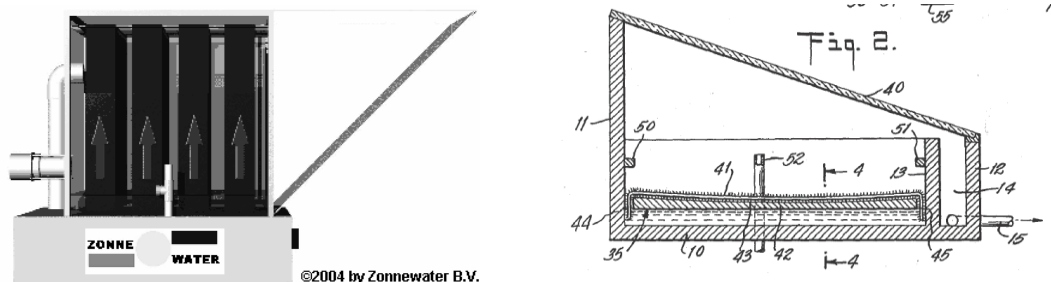
### **1. Sistem Pemanasan Berlapis**

Sistem pemanasan berlapis dilakukan dengan menempatkan plat pemanas ditengah-tengah air. Permukaan atas diatur sedangkal mungkin untuk mempercepat penguapan. Air di permukaan bawah sudah mulai dipanaskan, sehingga ketika mengalir ke atas hanya diperlukan kalor yang sedikit untuk menguap. Disamping penyerapan panas langsung, sistem ini bisa ditambah dengan pemantul sinar matahari yang akan membantu pemanasan air dari bawah. Sistem ini bisa meningkatkan efisiensi agar penyulingan air menjadi 35-50%.

Hanya saja perlu dipertimbangkan masalah biaya yang berhubungan dengan kompleksitas sistem.

## 2. Sistem Pemanasan Sumbu

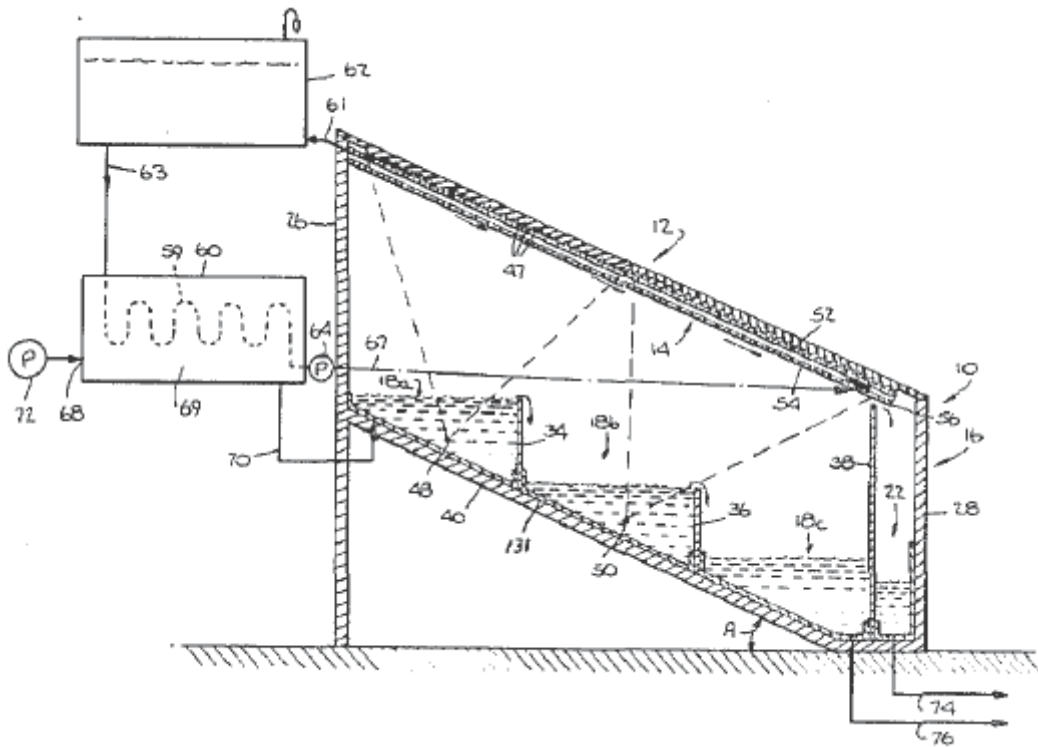
Alat penyulingan air dengan sistem sumbu menggunakan material berpori yang mampu menyerap air dari tangki. Sumbu ini berupa lembaran yang dipasang dipanaskan di dalam ruang pemanas. Dengan metode ini jumlah air yang dipanaskan menjadi semakin kecil, sehingga penguapan lebih cepat. Pemasangan sumbu dapat diatur sesuai dengan kedudukan matahari, untuk mendapatkan radiasi panas yang maksimal.



**Gambar 2.2. Sistem sumbu (Paten No.4270981)**

## 3. Sistem Bak Bertingkat

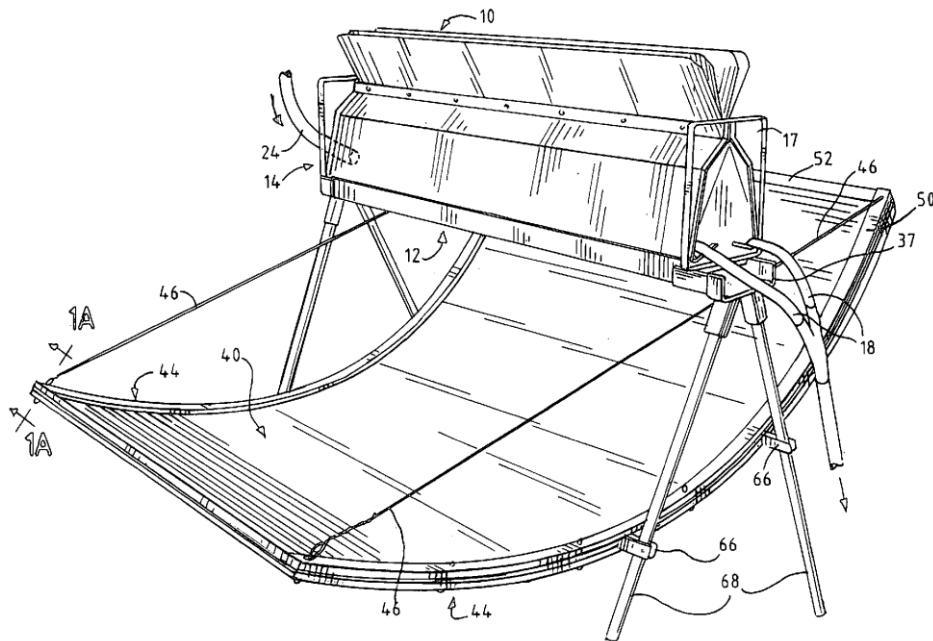
Sistem bak bertingkat merupakan modifikasi dari alat penyuling air tunggal. Sistem ini menggunakan bak-bak pemanas kecil yang dipasang berderet. Sistem ini digunakan jika posisi alat penyulingan air memerlukan kemiringan untuk meningkatkan tangkapan radiasi matahari.



**Gambar 2.3. Sistem bak bertingkat (Patent No.4270981)**

#### **4. Sistem Pengumpul Radiasi Matahari**

Sistem pengumpul radiasi matahari bermaksud untuk meningkatkan konsentrasi panas matahari ke area yang lebih kecil. Dengan sistem ini panas yang ditransfer ke air akan bertambah seimbang dengan area cermin pemantul.



**Gambar 2.4. Sistem pengumpul radiasi matahari (Patent No. US  
2008/0073198 A1)**

## **B. Energi Matahari**

Tenaga matahari atau yang biasa disebut tenaga surya (*solar energy*) merupakan energi yang bersumber dari sinar matahari. Energi ini merupakan energi yang murah dan melimpah di daerah tropis seperti Indonesia.

Melimpahnya tenaga surya yang merata dan terdapat diseluruh kepulauan di Indonesia hampir sepanjang tahun sebenarnya merupakan sumber energi yang sangat potensial. Dengan begitu Indonesia tak perlu menimbulkan rasa khawatir bahwa Indonesia akan kehabisan energi dan harus mengimpor dari Negara lain.

Persediaan alamiah energi panas matahari yang *sustainable* telah lebih dari cukup jika dimanfaatkan secara maksimal (Hasyim, 2005). Sumber ini sebenarnya juga merupakan energi alternatif jika pada suatu saat nanti krisis energi mulai melanda Indonesia.

Menurut Hardjasoemantri (2002), pemanfaatan energi surya dikelompokkan menjadi dua kategori, yakni pemanfaatan energi surya secara langsung dan tidak langsung. Pemanfaatan energi surya secara tidak langsung adalah berupa pemanfaatan biomassa untuk sumber energi. Lakitan (2002) mengatakan bahwa energi surya yang sampai ke bumi, sebagian kecil akan dikonversi menjadi energi kimia oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis yang kompleks. Produk akhir dari fotosintesis adalah biomassa. Dengan demikian biomassa merupakan energi surya tak langsung.

Pemanfaatan energi surya secara langsung adalah dengan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi utama secara langsung. Pemanfaatan energi surya harus mempertimbangkan sifat-sifat fisika dari sinar matahari. Lakitan (2002) mengatakan bahwa untuk mengkaji tentang aspek fisika cahaya ada beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya : porsi serapan cahaya (*absorbitivity*), porsi pantulan (*reflectivity*), porsi terusan (*transmisivity*), daya pancar (*emisivity*), aliran energi cahaya (*radian flux*), kerapatan aliran energi cahaya (*radiant flux density*), intensitas terpaan (*irradiance*), dan intensitas pancaran cahaya (*emmitance*).

Radiasi surya (*solar radiation*) merupakan suatu bentuk radiasi thermal yang mempunyai distribusi panjang gelombang khusus. Intensitasnya sangat

bergantung dari kondisi atmosfer, saat dalam tahun, dan sudut timpa (*angle of incidence*) sinar matahari dipermukaan bumi. Pada batas luar atmosfer, radiasi surya total ialah  $1395 \text{ W/m}^2$  bilamana bumi berada pada jarak rata-ratanya dari matahari. Angka ini disebut konstanta surya (*solar constant*). Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari, hal ini dikarenakan terdapat absorpsi yang kuat dari karbondioksida dan uap air di atmosfer. Radiasi surya yang menimpa permukaan bumi juga bergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya dalam atmosfer. Energi surya yang maksimum akan mencapai permukaan bumi bilamana berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi, karena terdapat bidang pandang yang lebih luas terhadap fluks surya yang datang dan berkas sinar surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer, sehingga mengalami absorpsi lebih sedikit daripada jika sudut timpanya miring terhadap normal.

### C. Perpindahan panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material<sup>1</sup>. Perpindahan panas berhubungan dengan laju perpindahan panas dan penyebaran suhu dalam sistem. Pada proses destilasi, perpindahan panas berlangsung dengan cara sebagai berikut:

---

<sup>1</sup>Frank Keith, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, (Jakarta:Penerbit Erlangga, 1997), h. 5.



## 1. Radiasi

Radiasi<sup>2</sup> adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut.

Panas yang hilang dari bagian atas pelat penyerap karena adanya radiasi dari bagian dalam pelat kolektor ke permukaan kaca, dan panas ini dikonduksikan melalui kaca ke permukaan luarnya yang kemudian dipindahkan ke atmosfer luar secara konveksi dan radiasi.

Persamaan Radiasi :

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Keterangan :

$Q_{\text{rad}}$  = laju perpindahan panas (W)

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

$\epsilon$  = emisivitas

$T_1$  = temperatur permukaan kaca luar ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_2$  = temperatur langit ( $^{\circ}\text{K}$ )

$A$  = Luas bidang ( $\text{m}^2$ )

## 2. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas melalui kontak langsung antara molekul zat yang berbeda suhu. Besaran perpindahan panas secara konduksi tergantung pada nilai konduktivitas panas bahan. Namun biasanya pada pelat

---

<sup>2</sup>*ibid.*, h. 5

kolektor, kerugian kalor secara konduksi diabaikan sebab tebal cover dan sirip pelat absorber kecil sehingga perbedaan temperatur tidak begitu signifikan.

Persamaan Dasar Konduksi<sup>3</sup>:

$$Q_{\text{kond}} = \frac{kA \Delta T}{L}$$

Keterangan :

$Q_{\text{kond}}$  = laju perpindahan panas (W)

$k$  = konduktivitas termal (W /°C.m)

$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$L$  = ketebalan (m)

$\Delta T$  = perbedaan suhu (°C)

### 3. Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas yang dihubungkan dengan pergerakan fluida. Jika fluida bergerak karena adanya gaya gerak dari luar maka disebut konveksi paksa, sedangkan jika pergerakan fluida terjadi karena perbedaan massa jenis yang disebabkan oleh perbedaan suhu disebut konveksi alami.

Persamaan kerugian kalor konveksi pada pelat dan kaca adalah<sup>4</sup> :

$$Q = hA \Delta T$$

Dimana :

$Q$  = laju perpindahan panas (W)

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi (W/°C.m<sup>2</sup>)

<sup>3</sup> Peter J. Lunde, *Solar Thermal Engineering : Space Heating and Hot Water Systems*, (New York:John Wiley & Sons, 1980), h. 12.

<sup>4</sup>*Ibid.*, h. 14

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

$\Delta T$  = perbedaan suhu uap dan kaca ( $^{\circ}C$ )

Dimana  $T_1$  dan  $T_2$  adalah temperatur-temperatur dari permukaan-permukaan yang berlawanan, masing-masing luas  $A$ . Properti-properti fluida ditentukan di mean aritmetik dari kedua temperatur permukaan,  $(T_1 + T_2)/2$ . Dan panjang karakteristik didalam bilangan grashof adalah jarak diantara permukaan-permukaan tersebut<sup>5</sup>

$$Gr\delta = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{v\alpha}$$

Keterangan:

$Gr$  = bilangan grashuf

$g$  = grafitasi ( $m/s^2$ )

$\Delta T$  = perbedaaan suhu ( $^{\circ}C$ )

$L$  = panjang bahan (m)

$v$  = kecepatan ( $m^2/s$ )

$\alpha$  = percepatan ( $m^2/s$ )

koefisien konveksi:

$$h = \frac{k}{L} N_{uL}$$

Radiasi matahari yang diserap oleh air sebagai panas ( $Q_L$ ), dipindahkan ke tutup dengan cara konveksi ( $Q_{konv}$ ), radiasi ( $Q_{rad}$ ) dan konduksi ( $Q_{kond}$ ). Laju perpindahan kalor total, dapat dituliskan :

---

<sup>5</sup> Donald Pitts, Schaum's outlines perpindahan panas edisi kedua, (Jakarta:Penerbit Erlangga, 2011), hal. 175.

$$Q_L = Q_{kond} + Q_{rad} + Q_{konv}$$

Dimana :

$Q_L$  = Laju perpindahan kalor total

Macam-macam perpindahan panas inilah yang nanti akan mempengaruhi hasil pengujian.

#### D. Termokopel

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (*voltase*). Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C<sup>6</sup>.

Jenis jenis termokopel

1. Tipe K (*Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy)*)

Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu -200 °C hingga +1200 °C.

2. Tipe E (*Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy)*)

Tipe E memiliki output yang besar (68  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.

3. Tipe J (*Iron / Constantan*)

Rentangnya terbatas (-40 hingga +750 °C) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar  $\sim 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

---

<sup>6</sup><http://erikasmanusu.blogspot.com/2013/10/pengertian-termokopel.html>, diakses pada 00.07, 2 Juli 2015

4. Tipe N (*Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy)*)

Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas 1200 °C. Sensitivitasnya sekitar 39  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  pada 900 °C, sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K.

5. Tipe B (*Platinum-Rhodium/Pt-Rh*)

Cocok mengukur suhu di atas 1800 °C. Tipe B memberi *output* yang sama pada suhu 0 °C hingga 42 °C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50 °C.

6. Tipe R (*Platinum /Platinum with 7% Rhodium*)

Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.

7. Tipe S (*Platinum /Platinum with 10% Rhodium*)

Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43 °C)

### **E. Energi yang keluar**

Kita menggunakan simbol  $Q$  sebagai kuantitas panas. Ketika dihubungkan dengan perubahan suhu yang sangat kecil  $dT$ , kita menyebutnya  $dQ$ . Kuantitas panas  $Q$  yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu massa  $m$  dari bahan tertentu dari  $T_1$  menjadi  $T_2$  kira-kira setara dengan perubahan suhu  $\Delta T = T_2 - T_1$ . Kuantitas panas juga berbanding lurus dengan massa beban  $m$ . Saat memanaskan air untuk

membuat teh, dibutuhkan dua kali panas lebih banyak untuk dua cangkir, dibandingkan untuk satu cangkir dengan interval suhu yang sama. Kuantitas panas yang dibutuhkan tergantung pada sifat alami bahan; untuk menaikkan suhu satu kg air sebesar 1 °C diperlukan panas 4190 J, tapi hanya diperlukan 910 J untuk menaikkan suhu satu kg aluminium sebesar 1 °C. Dengan menyatukan seluruh hubungan tersebut, kita peroleh:<sup>7</sup>

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Keterangan:

Q = panas (J)

m = massa beban (Kg)

c = massa jenis (J/Kg . K)

$\Delta T$  = perubahan suhu (K)

## F. Perubahan Fasa

Kita menggunakan istilah fasa (*phase*) untuk mendeskripsikan keadaan tertentu dari suatu bahan, seperti padat, cair, dan gas. Campuran H<sub>2</sub>O eksis dalam fasa padatan sebagai es, dalam fasa cair sebagai air, dan dalam fase gas sebagai uap. Transisi dari satu fasa ke fasa lainnya disebut perubahan fasa (*phase change*) atau transisi fasa. Untuk tekanan tertentu, perubahan fasa terjadi pada suhu tertentu, umumnya disertai dengan absorpsi atau emisi panas dan perubahan volume dan densitas.

---

<sup>7</sup> Hugh D. Young, *Sears dan zemansky* Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1, (Jakarta:Penerbit Erlangga,2002), hal.467.

Contoh umum perubahan fasa adalah peleburan (pencairan) es. Ketika panas ditambahkan pada es pada  $0^{\circ}\text{C}$  dan tekanan atmosfer normal, suhu es tidak bertambah. Bahkan, sebagian mencair membentuk air. Jika ditambahkan panas perlahan, untuk menjaga sistem mendekati keseimbangan termal, suhu tetap pada  $0^{\circ}\text{C}$  hingga seluruh es mencair. Efek penambahan panas pada sistem ini bukan untuk menaikkan suhu tapi untuk mengubah fasa dari padat menjadi cair.

Untuk mengubah 1 kg es pada  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi 1 kg air cair pada  $0^{\circ}\text{C}$  dan tekanan atmosfer normal dibutuhkan panas  $3,34 \times 10^5$  J. Panas yang dibutuhkan persatuan massa disebut panas peleburan (*heat of fusion*) dilambangkan dengan  $L_f$ . Untuk air pada atmosfer normal, panas lebur adalah

$$L_f = 3,34 \times 10^5 \text{ J/Kg} = 79,6 \text{ kal/g} = 143 \text{ Btu/lb}$$

Sedangkan untuk penjelasan pendidihan atau penguapan, perpindahan fasa antara fasa cair dan gas. Panas yang berkaitan (persautan massa) di sebut panas penguapan (*heat of pavorization*) dilambangkan dengan  $L_v$ . Pada atmosfer normal, panas penguapan pada air adalah

$$L_v = 2,256 \times 10^6 \text{ J/Kg} = 539 \text{ kal/g} = 970 \text{ Btu/lb}$$

Proses ini adalah *reversibel* (bisa bolak - balik). Untuk membekukan cairan air menjadi es pada  $0^{\circ}\text{C}$  , panas yang harus dihilangkan besarnya adalah sama, tapi dalam kasus ini, Q negatif karena panas yang dikeluarkan bukan ditambahkan.

Untuk melingkupi kedua kemungkinan dan mencakupi semua jenis perubahan fasa lainnya, kita tuliskan<sup>8</sup>

$$Q = \pm mL \text{ (*perpindahan panas dalam perubahan fasa*)}$$

Keterangan:

Q = Panas (J)

m = massa beban (Kg)

L = Titik lebur (J/kg)

---

<sup>8</sup> Ibid, hal. 470