

## BAB II

### DASAR TEORI

Ketel uap adalah salah satu pesawat pengubah energi bahan bakar menjadi energi uap, dan energi uap ini dapat digunakan untuk bermacam-macam keperluan misalnya menggerakkan peralatan mekanis, pemanasan, pemadam kebakaran dan lain-lain keperluan lagi, sehingga pertimbangan tentang pentingnya keberadaan ketel uap di atas kapal masih lebih dominan.

#### II.1 PEMAKAIAN UAP PADA KETEL

Di setiap kapal motor terdapat ketel uap untuk memproduksi uap untuk keperluan pemanasan, baik untuk pemanasan tangki-tangki bahan bakar untuk merubah air laut menjadi air tawar, ataupun untuk pemanasan tanki muatan misalnya muatan *palm Oil*.

Akan merupakan penghematan besar atas pemakaian bahan bakar apabila di kapal-kapal motor dalam saluran pembuangan di instalasi ditempatkan ekonomiser.

Di kapal terdapat 2 jenis bahan bakar :

1. Bahan bakar berat MFO (*Marine Fuel Oil*)
2. Bahan bakar ringan MDO (*Marine Diesel Oil*)

Bahan bakar berat (MFO) ini mempunyai viskositas 0,96% hal ini dapat menambah beban yang lebih berat pada pompa tekanan tinggi, apabila bahan bakar tersebut tidak dipanaskan.

Oleh karena itu untuk meringankan kerja dari pompa bahan bakar perlu dipanaskan

Sebelum masuk ke motor induk . Selain bahan bakar terdapat muatan kapal (*palm Oil*) perlu dijaga temperature dari muatan tersebut agar tidak rusak sampai di tempat tujuan.

Pemakaian uap juga diperlukan untuk pesawat *FRESH WATER GENERATOR*, yaitu suatu pesawat yang diperlukan untuk membuat air tawar dimana air laut tersebut dirubah menjadi air tawar dengan pemanasan dari uap.

Untuk akomodasi di kapal-kapal yaitu untuk memanasi ruangan-ruangan , kamar-kamar tidur, apabila kapal berada pada daerah dingin.

## II.2. OBJEK KAJIAN

Pengamatan lebih lanjut terhadap kondisi lapangan ternyata proses penghematan energi ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah panas dari motor diesel ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah panas dari motor diesel yaitu dengan merencanakan sebuah penukar panas (ekonomiser ) yang fluida panasnya adalah gas asap dari motor induk, sehingga air pengisian yang masuk ke ketel menjadi lebih panas dan ini akan memperingan beban pemakaian bahan bakar pada boiler.

### II.2.1. SUMBER LIMBAH PANAS

Sumber limbah panas yang di manfaatkan sebagai fluida panas dalam perancangan ekonomiser berasal dari 3 (tiga) buah motor diesel dengan kapasitas masing-masing 350 KVA, motor diesel ini dipakai sebagai unit pembagian listrik

Tiap hari motor diesel ini di oprasikan sehingga limbah panas tiap hari bias diperoleh, motor penggerak yang di gunakan adalah motor diesel sedangkan

ruang motor diesel terletak bersebelahan dengan ruang boiler sehingga dalam pembuatan saluran untuk pemanfaatan gas limbah tidak begitu sulit.

## II.2.2. Faktor Yang Mempengaruhi Perancangan Ekonomiser.

Beberapa faktor yang mempengaruhi perencanaan ekonomiser adalah sebagai berikut :

- Temperatur Gas Asap

Apabila perbedaan temperatur gas asap yang masuk dan keluar ekonomiser cukup besar maka jumlah kalor yang diberikan ke air cukup besar pula. Dalam hal ini temperatur gas asap masuk ekonomiser adalah  $340^{\circ}\text{C}$ , sehingga masih cukup panas untuk memanaskan air persediaan. Meskipun diinginkan perbedaan temperatur besar tapi gas asap yang keluar ekonomiser tidak boleh terlalu dingin. Karena ada kemungkinan terjadi pengembunan di cerobong asap, apa bila jika gas asap mengandung sulfur maka dapat terjadi reaksi penyebab korosi. Akibat cerobong asap berlubang-lubang dan fungsi cerobong akan hilang, sehingga tak dapat menarik gas asap keluar. Untuk ini direncanakan temperatur gas asap keluar ekonomiser adalah  $216,55^{\circ}\text{C}$ .

- Jumlah Gas Asap Yang Melewati Ekonomiser.

Semakin banyak jumlah gas yang melewati ekonomiser semakin banyak pula panas yang diberikan oleh gas asap tersebut.

- Komposisi Gas Asap.

Gas asap yang melewati ekonomiser tersebut harus diketahui komposisinya sehingga dapat dengan tepat kita tentukan sifat-sifat fisisnya antara lain :

- Spesifik panas pada tekanan konstan

- Bilangan prandtl
- Viskositas
- Konduktivitas termal dari gas asap tersebut
- Adanya penurunan tekanan pada gas asap.

Penurunan tekanan gas asap dapat berjalan sebagai mestinya .

- Air Pengisian.

Air pengisian untuk ekonomiser harus pula diketahui sifat sifat fisiknya , sebab hal ini akan mempengaruhi besar kecilnya perpindahan panas yang terjadi.

- Letak Ekonomiser.

Ekonomiser yang direncanakan terletak diantara jalan keluar gas asap dari motor diesel ke cerobong asap.

### II.3. Ekonomiser

Ekonomiser adalah tipe alat penukar panas antara gas panas buang main engine dengan air umpan (*feed water*). Sehingga dihasilkan air umpan panas yang akan masuk ke motor diesel untuk diuapkan. Kapasitas uap dan tekanan yang dihasilkan tergantung pada jumlah energi kalor yang diserap air umpan dari gas buang. Dimana jumlah kalor gas buang tergantung laju gas buang dan temperatur. Prinsip kerja dari ekonomiser secara umum ditunjukkan pada gambar 9 . Gas buang dengan kapasitas  $m_G$  (kg/jam) dan temperatur masuk  $T_{G1}$  ( $^{\circ}C$ ) tertentu yang dihasilkan dari proses suatu mesin mengalir memasuki *duct* yang didalamnya terdapat pipa-pipa. Sehingga memanaskan dinding pipa bagian luar yang

diteruskan dengan proses konduksi melalui ketebalan pipa sehingga panasnya ditukarkan ke air yang diumpankan, yang akan memanaskan air umpan yang mempunyai kapasitas  $m_w$  (kg/jam), serta temperatur awal  $T_{w1}$  menjadi  $T_{w2}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), karena energi kalor gas sebagian sudah ditukar dengan temperatur air umpan sehingga gas buang keluar dari ekonomiser bertemperatur  $T_{G2}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### II.3.1. Tipe Ekonomiser

Penggunaan ekonomiser secara garis besar dibagi menjadi tiga macam yaitu :

#### 1. *Non Condensing* Ekonomiser

Ekonomiser jenis ini dioperasikan pada temperatur diatas titik jenuh fluidanya. Pengoperasian ekonomiser tipe ini pada temperatur diatas titik jenuh (*dew point*) sangat menguntungkan karena kondensasi air pada titik jenuh akan menyebabkan adanya problem korosi.

#### 2. *Condensing* Ekonomiser

Sebagian besar kehilangan panas dalam gas buang disebabkan panas laten air dalam proses pembakaran. *Condensing* ekonomiser ini mampu untuk menyerap panas laten tersebut, dan menyebabkan temperatur gas buang akan menurun sampai di bawah temperatur kondensasinya. Konstruksi peralatan

condensing ekonomiser ini cukup mahal sebab materialnya harus tahan terhadap korosi.

### 3. *Steaming Ekonomiser*

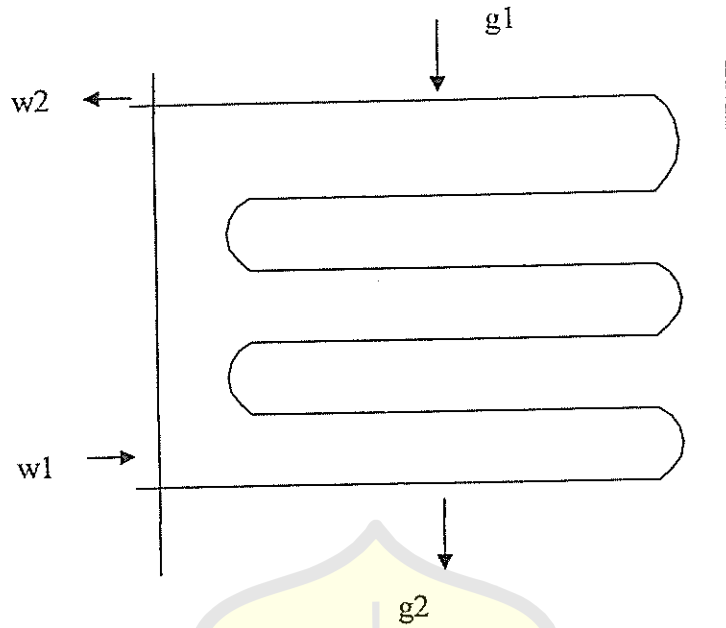
Di dalam peralatan *steaming* ekonomiser sebagian uap air diproduksi di alat ini. Biasanya produksi steam ini dapat mencapai 20% dari *steam* produksi ketel uapnya sendiri. Dari persentasi tersebut akan turun bila beban *main engine* nya juga turun.

### II.3.2. Jenis-Jenis Ekonomiser Menurut Konstruksinya

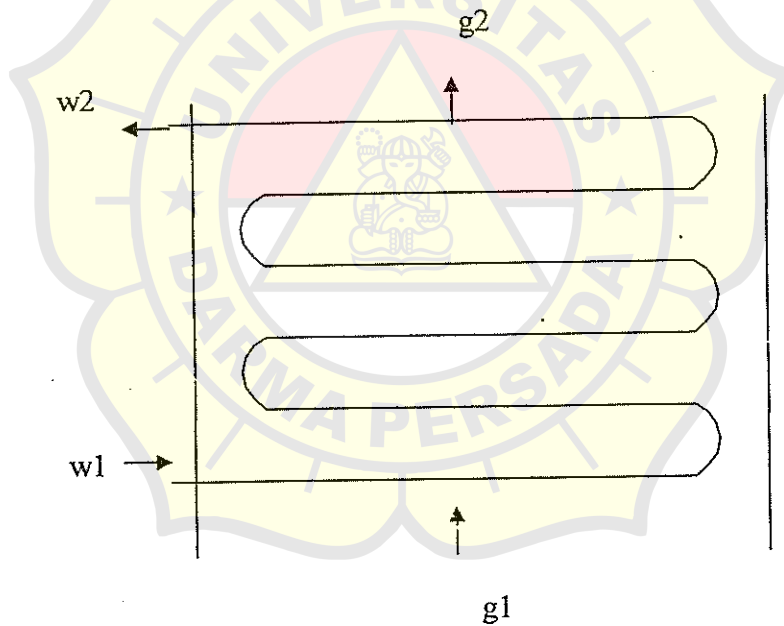
Menurut konstruksinya ekonomiser dapat dibedakan atas beberapa jenis.

Di bawah ini diuraikan beberapa penggolongan ekonomiser, yaitu :

1. Menurut tipe permukaan penyerap panasnya.
  - Ekonomiser yang permukaan luar pipanya bersirip (*finned tube*).
  - Ekonomiser yang permukaan luarnya licin (*bare tube*).
2. Menurut detail desain.
  - Ekonomiser yang menggunakan *flanged return bend*.
3. Menurut jenis aliran



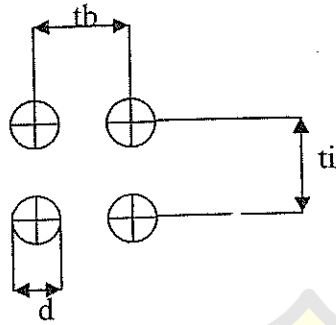
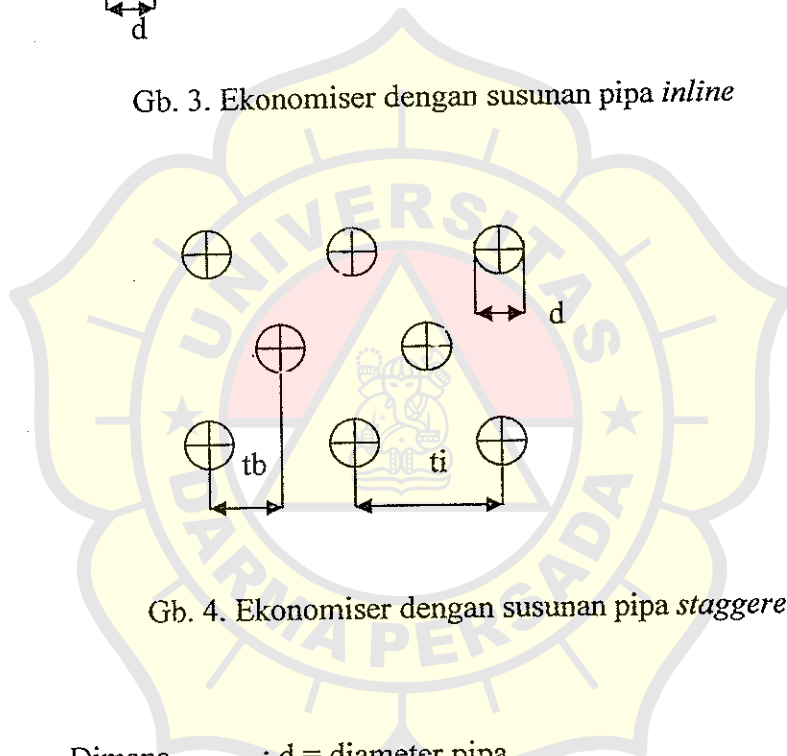
- Gb.1. Ekonomiser dengan pola aliran lawan arah (*counter flow*).



- Gb.2. Ekonomiser dengan pola aliran searah (*parallel flow*)

g : tekanan uap  
w : aliran fluida

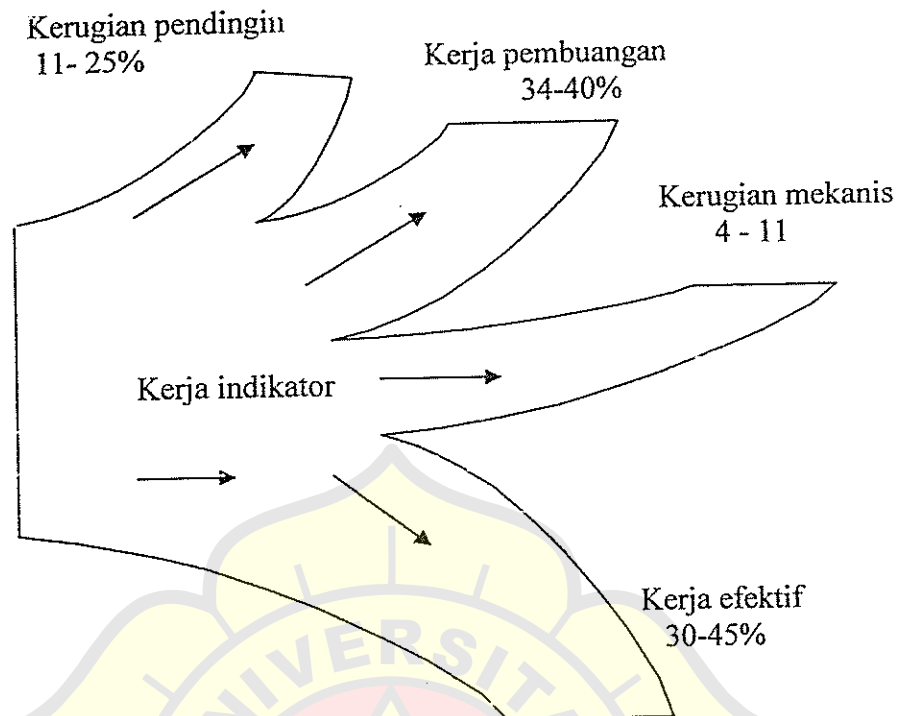
## 4. Menurut susunan pipa

Gb. 3. Ekonomiser dengan susunan pipa *inline*Gb. 4. Ekonomiser dengan susunan pipa *staggered*

Dimana :  $d$  = diameter pipa  
 $T_b$  = jarak antara pipa  
 $T_i$  = jarak lengkungan pipa



## II.4. Gas Buang



Gb.5 . Diagram neraca kalor

Gas Nitrogen ( $N_2$ ) sebetulnya tidak berperan dalam proses pembakaran, tetapi gas ini terdapat di udara dengan jumlah yang relatif besar dan kehadirannya di ruang bakar sulit dihindari, karena sebagian energi hasil pembakaran terbawa oleh Nitrogen dalam bentuk panas *sensible*. Selain itu udara lebih sengaja dibuat untuk memperoleh pembakaran sempurna juga merupakan bagian dari panas hilang ke cerobong yang tidak dihindari.

Yang secara langsung dibuang ke udara menimbulkan polusi thermal. Sumber-sumber dari gas buang ditunjukkan oleh Tabel 1 pada lampiran. Dari sumber-sumber tersebut, dengan menukarkan gas buang dengan “*Heat Exchanger*” dapat dipergunakan untuk :

1. Menghasilkan listrik.
2. Menghasilkan uap.
3. Memanaskan air.
4. Memanaskan bahan bakar.
5. Memanaskan udara.

### Energi Gas Buang ( $Q_G$ )

Energi yang terkandung dalam gas buang, yaitu :

$$Q_G = m_G \cdot C_p \cdot (T_{G1} - T_{G2})$$

Dimana :

$Q_G$  : Energi dalam gas buang (kJ/s)

$m_G$  : Kapasitas gas buang yang memasuki ekonomiser (kg/s)

$C_p$  : Kalor jenis gas (kJ/kg  $^{\circ}$ C)

$T_{G1}$  : Temperatur gas buang masuk ekonomiser ( $^{\circ}$ C)

$T_{G2}$  : Temperatur gas buang keluar ekonomiser ( $^{\circ}$ C)

Energi gas buang tersebut diserap air umpan, dengan mengikuti persamaan kesetimbangan massa dan energi. Untuk merancang ekonomiser yang menjadikan air umpan bertemperatur tertentu pada kapasitas  $m_w$  (kg/s), maka energi yang diberikan gas buang sama dengan energi untuk menghasilkan sampai temperatur air umpan yang direncanakan :

$$Q_G = Q_e + Q_L$$

$$Q_e = m_w (h_{w2} - h_{w1})$$

Dimana :

$Q_e$  : Energi yang dipergunakan ekonomiser

$Q_L$  : Energi panas yang hilang.

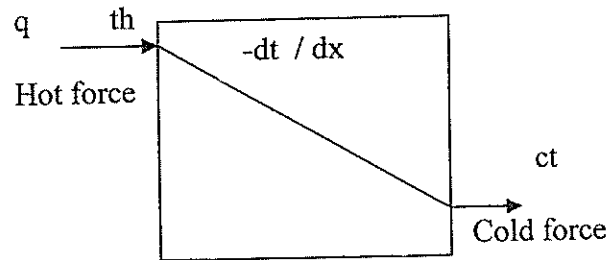
## II.5. Alat Penukar Kalor

Penukar kalor didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu yang bertemperatur lebih tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Pembahasan tentang aliran panas akan banyak melibatkan kombinasi dari berbagai hukum fisika. Pada dasarnya dikenal tiga bentuk aliran panas yaitu :

- Konduksi
- Konveksi
- Radiasi

### II.5.1. Konduksi

Konduksi adalah proses penukar kalor dari daerah yang bertemperatur yang lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair, gas) atau diantara medium yang saling bersentuhan satu sama lainnya, seperti ditunjukkan pada gambar 9 dibawah ini :



Gb.6. Aliran panas melalui dinding datar

Besarnya laju aliran panas atau laju penukar kalor konduksi dapat ditulis dengan persamaan hukum J. Fourier .

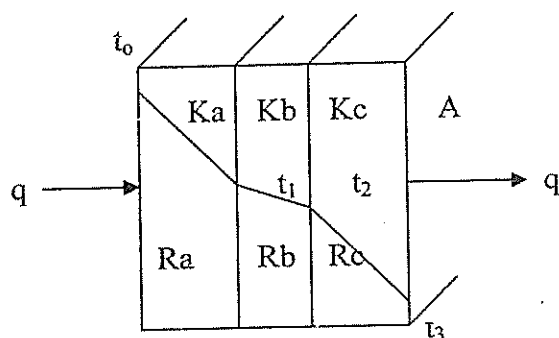
$$q = -\frac{kA}{\Delta x}(T_2 - T_1)$$

dimana :

- q : laju aliran penukar kalor (W)
- k : konduktivitas thermal ( $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- A : luas penampang penukar kalor ( $\text{m}^2$ )
- $T_2 - T_1$  : gradien suhu ( $^\circ\text{C/m}$ )

Sedangkan tanda negatif ( - ) untuk memenuhi hukum kedua termodinamika, bahwa penukar kalor terjadi dari medium bertemperatur tinggi ke medium yang bertemperatur lebih rendah.

Jika dalam sistem tersebut terdapat lebih dari satu macam bahan atau dinding lapis rangkap, seperti gambar di bawah ini :



Gb.7. Penukar kalor satu dimensi melalui dinding komposit

Jika gradien suhu pada ke tiga bahan seperti gb. 7 , aliran kalornya adalah (Ref. No. 1, hal 27) :

$$q = -k_A A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x_A} = -k_B A \frac{T_2 - T_1}{\Delta x_B} = -k_C A \frac{T_3 - T_2}{\Delta x_C}$$

$$R = \frac{L}{kA}$$

### II.5.2. Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan kalor dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah disertai adanya gerakan massa fluida, atau dapat disebut juga bahwa konveksi merupakan proses konduksi yang berlangsung dengan gerakan massa.

Besarnya laju aliran kalor konveksi dapat ditulis dengan persamaan Isaac Newton adalah (Ref. No. 1, hal 12).

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

dimana :

- q : laju perpindahan kalor konveksi (W)  
 h : koefisien perpindahan kalor konveksi ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )  
 A : luas permukaan/penampang perpindahan kalor ( $m^2$ )  
 $\Delta T$  : perbedaan temperatur permukaan yang mempunyai temperatur tinggi dan rendah ( $^\circ C$ )

Pada aliran panas secara konveksi dikenal 2 macam bentuk konveksi, yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas adalah konveksi yang adanya gerakan fluida diakibatkan perbedaan massa jenis yang ditimbulkan oleh adanya perbedaan temperatur. Sedangkan pada konveksi paksa aliran fluida yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan akibat bekerjanya gaya luar.

Besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi paksa disamping tergantung pada viskositas perpindahan kalor konveksi paksa disamping tergantung pada viskositas fluida juga tergantung juga pada konduktivitas termal fluida, kalor jenis dan kerapatan massa fluida. Besarnya koefisien perpindahan kalor dapat dihitung dengan mengetahui harga bilangan Nusselt ( $Nu_D$ ), konduktivitas thrmal fluida dan diameter pipa. Hubungannya dinyatakan dengan rumus (Ref. No. 3, hal 439) :

$$h = \frac{\overline{Nu_D} \cdot k}{D}$$

Bilangan Nusselt adalah bilangan tanpa dimensi. Dari analisa dimensional untuk konveksi paksa pada aliran dalam *tube* maupun di luar *tube*, bilangan Nusselt ( $Nu$ ) adalah fungsi dari bilangan Reynolds ( $Re_D$ ) dan bilangan Prandtl ( $Pr$ ) atau (Ref. No. 3, hal 416) :

$$Nu = \phi (Re) \psi (Pr)$$

Dimana :

$\phi$  : fungsi dari bilangan Reynolds

$\psi$  : fungsi bilangan Prandtl

Bilangan Reynolds adalah bilangan tanpa dimensi yang dinyatakan dengan hubungan (Ref. No. 3, hal 417) :

$$Re_{DH} = \frac{VD_H \rho}{\mu}$$

Dimana :

$V$  : kecepatan rata-rata fluida

$D_H$  : diameter hidrolik

$\rho$  : massa jenis fluida

$\mu$  : viskositas absolut fluida

Bilangan Prandtl merupakan perbandingan viskositas kinematis fluida terhadap difusivitas fluida (Ref. No. 3, hal 420) :

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

Dimana :

$\nu$  : viskositas kinematis fluida

$a$  : difusivitas termal fluida

### II.5.3. Radiasi

Jenis ketiga dari perpindahan kalor ini adalah dengan mekanisme sinaran atau radiasi elektromagnetik. Jika kedua perpindahan kalor diatas melalui bahan antara, maka radiasi disini bisa juga melalui daerah hampa.

Kalor bersih dari dua benda yang bertukar kalor secara radiasi adalah berbanding dengan beda temperatur absolut pangkat empat, sehingga (Ref. No. 1, hal 13) :

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4)$$

dimana :

$\sigma$  : konstanta Stefan-Boltzman ( $W/m^2 K^4$ )

$A$  : luas permukaan ( $m^2$ )

$T_1^4 - T_2^4$  : temperatur absolut benda ( $^{\circ}C$ )

Persamaan diatas disebut juga hukum Stefan-Boltzman dan hanya berlaku pada benda berwarna hitam.



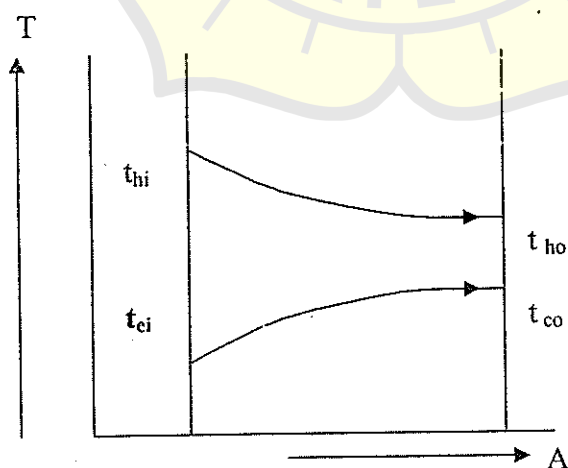
#### II.5.4. *Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)*

Suhu fluida-fluida di dalam penukar kalor pada umumnya tidak konstan, tetapi berbeda dari satu titik ke titik lainnya pada waktu panas mengalir dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin. Maka dari itu untuk tahanan termal yang konstanpun, laju aliran panas akan berbeda-beda sepanjang lintasan penukar kalor karena harganya bergantung pada beda temperatur antara fluida yang panas dan yang dingin pada penampang tertentu.

Yang dimaksud *logarithmic mean temperature difference* adalah beda temperatur pada ujung penukar kalor dikurangi beda temperatur pada ujung yang lainnya dibagi logaritma alamiah dari pada perbandingan kedua beda temperatur tersebut..

Besarnya *logarithmic mean temperature difference (LMTD)* adalah tergantung kepada bentuk aliran dari penukar kalor yang dihitung. Untuk penukar kalor pipa ganda, besarnya LMTD adalah.

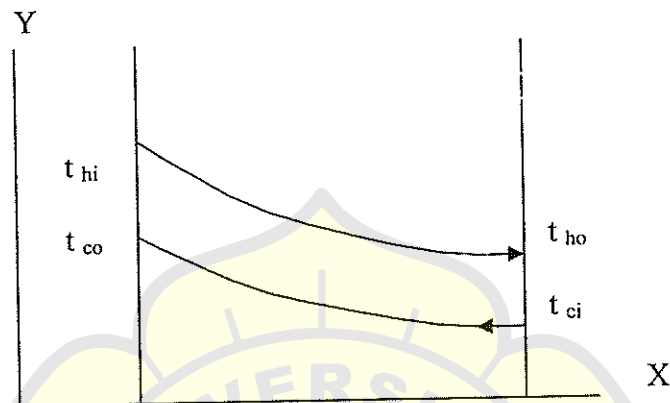
a. Aliran searah (*parallel flow*) (Ref. No. 1, hal 490)



Gb.8 a. LMTD untuk aliran searah

$$LMTD = \frac{(t_{ho} - t_{ci}) - (t_{hi} - t_{co})}{\ln \left[ \frac{(t_{hi} - t_{ci})}{(t_{ho} - t_{co})} \right]}$$

a. Aliran lawan arah (*counter flow*)



Gb. 8 b. LMTD untuk aliran lawan arah

$$LMTD = \frac{(t_{hi} - t_{co}) - (t_{ho} - t_{ci})}{\ln \left[ \frac{t_{hi} - t_{co}}{t_{ho} - t_{ci}} \right]}$$

Harga *LMTD* ini juga menentukan besar kecilnya luas permukaan perpindahan panas, yang kemudian berpengaruh terhadap dimensi penukar kalor.

Harga *LMTD* diatas hanya berlaku untuk penukar jenis pipa ganda. Sedangkan penukar panas jenis lainnya memerlukan suatu koreksi. Perpindahan kalor dihitung dengan menerapkan faktor koreksi terhadap *LMTD* untuk susunan pipa ganda aliran berlawanan arah, kemudian dikalikan dengan faktor koreksi, sebagai berikut (Ref. No. 3, hal 493).