BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses pertukaran panas yang terjadi antara benda panas dan benda dingin, yang masing – masing disebut *source and receiver* (sumber dan penerima). Ada 3 macam cara perpindahan panas yaitu

1. Hantaran, sering juga dinamakan konduksi
2. Aliran, sering juga disebut konveksi.
3. Pancaran, sering juga disebut radiasi.

Perpindahan panas konduksi adalah mekanisme perpindahan panas yang terjadi dengan suatu aliran atau rambatan proses dari suatu benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah atau dari suatu benda ke benda lain dengan kontak langsung, dengan kata lain proses perpindahan panas secara molekuler dengan perantara molekul-molekul yang bergerak. Perpindahan panas konduksi dapat berlangsung pada zat padat, cair , atau gas.

Perpindahan panas konveksi adalah mekanisme perpindahan panas yang terjadi dari suatu benda ke benda yang lain dengan perantara benda itu sendiri. Perpindahan panas konveksi ada 2 macam yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas. Konveksi alami adalah perpindahan molekul-molekul didalam zat yang dipanaskan karena adanya perbedaan density, Konveksi paksaan yaitu perpindahan panas konveksi yang berlangsung dengan bantuan tenaga lain

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu

permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembusi bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan.

2.2 Alat Penukar Panas(*Heat Exchanger)*

Alat penukar panas adalah alat yang berfungsi untuk mengakomodasikan perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin dengan adanya perbedaan temperatur, karena panas yang dipertukarkan terjadi dalam suatu sistem maka kehilangan panas dari suatu benda akan sama dengan panas yang diterima benda lain.

Secara umum ada 2 tipe penukar panas, yaitu:

a. Tipe kontak langsung

Tipe kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara dua zat yang dipertukarkan energinya dicampur atau dikontakkan secara langsung.Dengan demikian ciri khas dari penukar kalor seperti ini (kontak langsung) adalah bahwa kedua zat yang dipertukarkan energinya saling berkontak secara langsung (bercampur) dan biasanya kapasitas energi yang dipertukarkan relatif kecil.

b.Tipe tidak kontak langsung

Tipe tidak kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara kedua zat yang dipertukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding pipa, pelat, dan lain sebagainya sehingga antara kedua zat tidak tercampur. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium.. Dengan bahan pemisah yang memiliki konduktivitas termal

yang tinggi diharapkan tahanan termal bahan tersebut akan rendah sehingga seolah-olah antara kedua zat yang saling dipertukarkan energinya seperti kontak langsung.

2.3 Jenis-Jenis Heat Exchanger

Berdasarkan bentuknya, jenis heat exchanger antara lain :

1. Penukar panas pipa rangkap (double pipe heat exchanger)

   Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau arah aliran, baik dengan cairan panas atau dingin cairan yang terkandung dalam ruang annular dan cairan lainnya dalam pipa.Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat.Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam.Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi.

2. Penukar Panas Plate and Frame (*plate and frame heat exchanger*)

   Alat penukar panas pelat dan bingkai terdiri dari paket pelat-pelat tegak lurus,bergelombang, atau profil lain. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak (biasanya terbuat dari karet). Pelat -pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat 10 (kebanyakan segi empat) terdapat lubang pengalir fluida. Melalui dua dari lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebelahnya karena ada sekat.

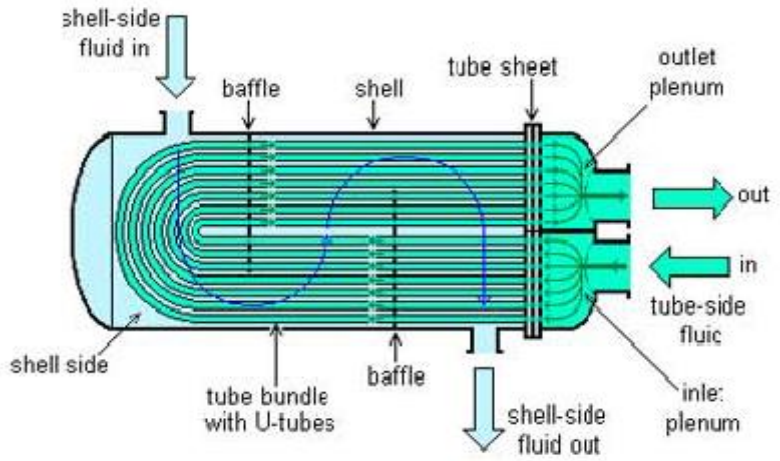
3. Tipe spiral (*spiral heat exchanger*)

   Penukar kalor tipe spiral arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat spiral atau sebaliknya dari pusat spiral menuju ke luar. Permukaan perpindahan kalor efektif adalah sama dengan dinding spiral sehingga sangat tergantung pada lebar spiral dan diameter serta berapa jumlah spiral yang ada dari pusat hingga diameter terluar.

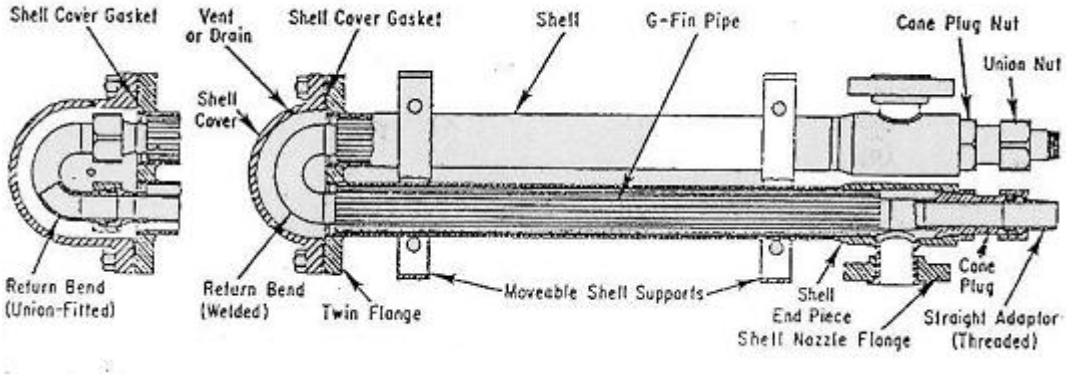
4. Tipe tabung dan pipa (*shell and tube heat exchanger*)

   Jenis ini terdiri dari suatu tabung dengan diameter cukup besar yang di dalamnya berisi seberkas pipa dengan diameter relatif kecil.Alat penukar panas ini terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Untuk meningkatkan effisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat (buffle). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (residence time), namun pemasangan sekat akan memperbesar pressure drop operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.

Untuk tipe tabung dan pipa ada jenis yang banyak dipergunakan di industri yaitu tipe pipa U (U tube type) seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dan tipe dua pipa (double pipe type) seperti diperlihatkan pada Gambar 2 Pada jenis yang terakhir ini setiap tabung berisi berkas pipa masing-masing.



Gambar 1. Penukar kalor tabung dan pipa tipe pipa U



Gambar 2. Penukar kalor tabung dan pipa dua pipa (double pipe)

2.4 Tipe Heat Exchanger Berdasarkan Susunan Aliran Fluida

Berdasarkan susunan aliran fluida yang dimaksud di sini adalah berapa kali fluida mengalir sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar/parallel, berlawanan arah/counter atau bersilangan/cross).Berdasarkan berapa kali fluida melalui penukar kalor dibedakan jenis satu kali laluan atau satu laluan dengan multi atau banyak laluan.

Pada jenis satu laluan, masih terbagi ke dalam tiga tipe berdasarkan arah aliran dari fluida yaitu:

1. Penukar kalor tipe aliran berlawanan

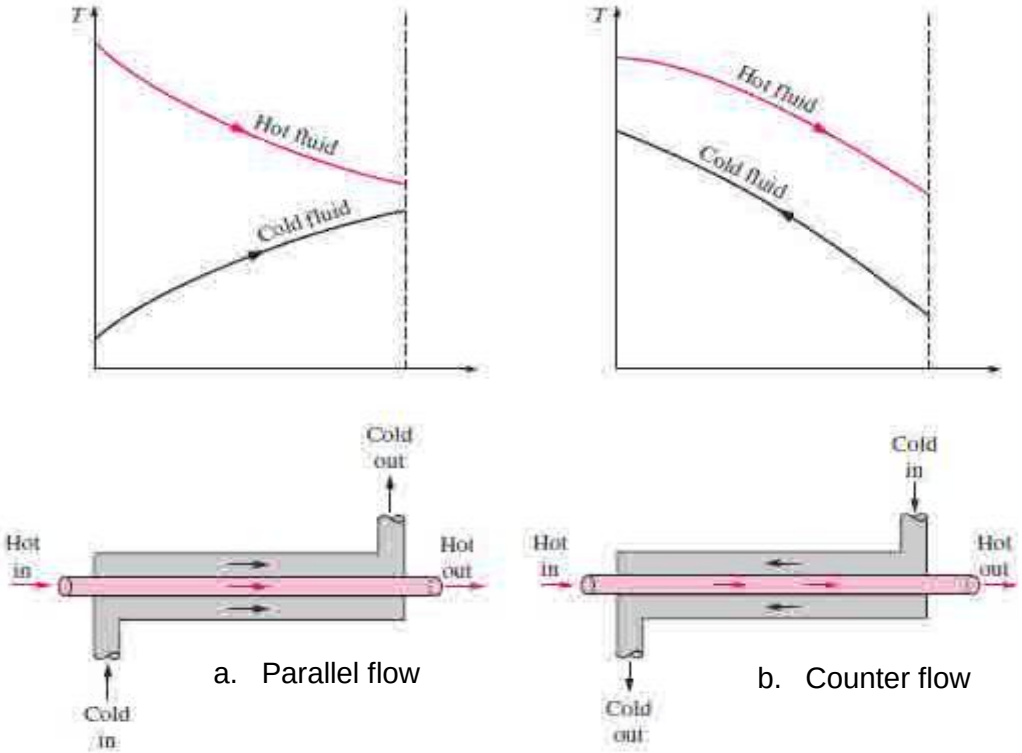
Penukar kalor tipe aliran berlawanan yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor.Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor.Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

2. Penukar kalor tipe aliran sejajar

Penukar kalor tipe aliran sejajar yaitu bila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain. Pada jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.

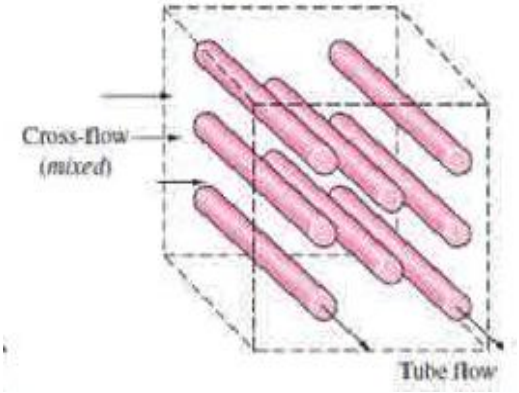
3. Penukar kalor dengan aliran silang

Penukar kalor dengan aliran silang yaitu bila arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas.Contoh yang sering ditemui adalah radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin 12 yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.(Cengel, 2003: 668)



a. Parallel flow

b. Counter flow

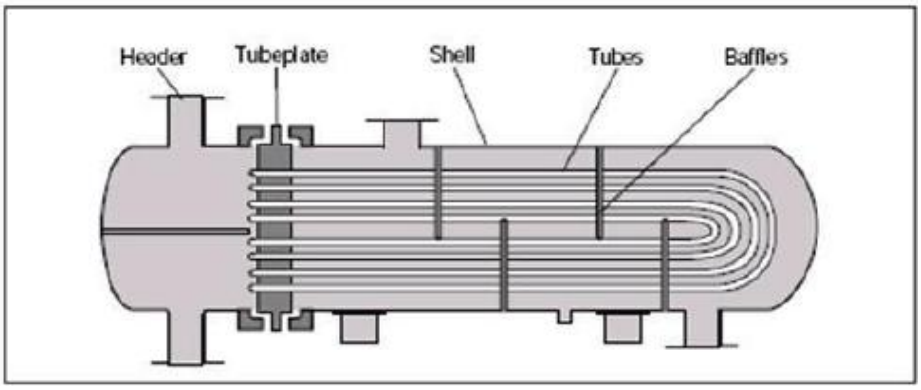


c. Counter flow

Gambar 3. Tipe aliran heat exchanger (a) parallel flow, (b) counter flow, (c) cross flow

2.5 Shell and Tube Exchanger

Tipe heat exchanger yang paling umum digunakan dalam industri adalah tipe shell and tube.Heat exchanger tipe shell and tube terdiri dari kumpulan tube didalam suatu shell. Satu fluida mengalir di dalam tube sedang fluida yang lain mengalir di ruang antara bundle tube dan shell.



Gambar 4.Bagian heat exchanger tipe shell and tube

Komponen penyusun Heat Exchanger jenis Shell and Tube adalah :

a. Shell

Merupakan bagian tempat untuk tube bundle. Antara shell and tube bundle terdapat fluida yang menerima atau melepaskan panas, yang dimaksud

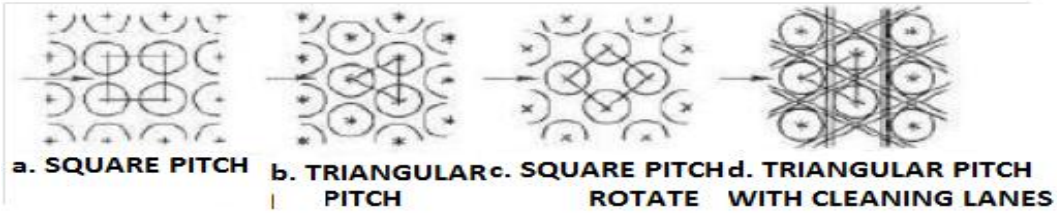
dengan lintasan shell adalah lintasan yang dilakukan oleh fluida yang mengalir ke dalam melalui saluran masuk (inlet nozzle) melewati bagian dalam shell dan mengelilingi tube kemudian keluar melalui saluran keluar (outlet nozzle)

b. Tube

Diameter dalam tube merupakan diameter dalam actual dalam ukuran inch dengan toleransi yang sangat cepat.Tube dapat diubah dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Ukuran ketebalan pipa berbeda-beda dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut Birmingham Wire Gage (BWG). Ukuran pipa yang secara umum digunakan biasanya mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku, semakin besar bilangan BWG, maka semakin tipis tubenya.

Jenis-jenis tube pitch yang utama adalah :

1. Square pitch
2. Triangular pitch
3. Square pitch rotated
4. Triangular pitch with cleaning lanes (Kern, 1980)



Gambar 5. Jenis tube pitch

c. Pass divider

Komponen ini berupa plat yang dipasang di dalam channels untuk membagi aliran fluida tube bila diinginkan jumlah tube pass lebih dari satu.

d. Baffle

Baffle digunakan untuk mengatur akiran lewat shell sehingga turbulensi yang lebih tinggi akan diperole. Adanya baffle dalam shell menyebabkan arah aliran fluida dalam shell akan memotong kumpulan tubes secara tegak lurus, sehingga memungkinkan pengaturan arah aliran dalam shell maka dapat meningkatkan kecepatan liniernya, sehingga akan meningkatkan harga koefisien perpindahan panas lapisan fluida di sisi shell.

Baffle juga berfungsi untuk menahan tube bundle untuk menahan getaran pada tube dan untuk mengontrol serta mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar tube sehingga turbulensi yang lebih tinggi akan diperoleh, dengan adanya turbulensi aliran maka koefisien perpindahan panas juga akan meningkat

2.6 Variabel yang Mempengaruhi Laju Perpindahan Panas (Q)

Besarnya laju perpindahan panas dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = U.A.\Delta Tm$$

Sehingga besarnya laju perpindahan panas (Q) dipengaruhi oleh :

1. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

   Semakin besar koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), maka laji perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida juga semakin besar.

2. Luas Permukaan (A)

   Semakin luas permukaan Heat Exchanger maka semakin besar pula laju perpindahan panas dan juga tergantung pada diameter dalam pipa.

3. Beda suhu rata-rata (ΔTm)

   Semakin besar beda suhu rata-rata antara fluida maka semakin besar pula laju perpindahan panasnya.

2.7 Sistem Komputer

Komputer dapat didefinisikan sebagai mesin hitung elektronik yang cepat menerima informasi masukan (*input information*), mengolah dan menghasilkan keluaran informasi (*output information*).

Ada beberapa jenis komputer yang berbeda menurut ukuran, kecepatan, dan harganya.Jenis yang paling kecil disebut mikro computer. Jenis mikro computer yang paling umum adalah computer pribadi yang biasa dijumpai di rumah, sekolah, dan kantor. Jenis yang paling tinngi disebut *mini computer*. Jenis ini biasa dipakai oelh sejumlah pemakai tertentu dan memiliki unit penyimpana berupa *disk magnetic* yang memadai untuk file program dan file data.

2.8 Bahasa Pemrograman Delphi

Program Delphi adalah sebuah bahasa pemrograman visual didalam lingkungan windows yang menggunakan bahasa pascal sebagai complier. Keberadaan bahasa pemrograman Delphi tak dapat dipisahkan dai bahasa Turbo Pascal karean program Delphi merupakan generasi penerus dari program Turbo Pascal yang merupakan gabungan dari program Turbo Pascal dengan program Turbo Pascal for Windows. Penggunaan program ini adalah dapat mempersingkat waktu pemrograman karena tak perlu lagi menuliskan kode program yang rumit dan panjang untuk menggambar, meletakan, dan mengatur komponen. Kemampuan program Delphi adalah Form dapat disimpan sebagai text, kategori Properties dalam Object Inspector, peningkatan kemampuan editor. Delphi memilih program menjadi dua bagian utama yaitu program utama dan program sekunder.

Bagian utama (pirmer) berupa file program yang mengkoordinasikan keseluruhan program, file ini dicirikan dari eksistensinya yaitu

*.dpr.sedangkanbagian sekunder merupakan bagian yang melaksanakan tugas-tugas tertentu dan lazim disebut unit, file ini dicirikan dari eksistensinya *.pas.

2.9 Sensor suhu

Sensor suhu merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk mengubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat mendeteksi atau mengukur besaran proses variable dengan mudah dianalisi besarnya. Ada beberapa metode yang digunakan untuk membuat sensor suhu ini, salah satunya adalah dengan cara menggunakan material yang berubah hambatannya terhadap arus listrik sesuai dengan suhunya.

2.9.1 Sensor Suhu LM 35

Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan.Sensor Suhu LM35 yang dipakai dalam penelitian ini berupa komponen elektronika elektronika yang diproduksi oleh *National Semiconductor*.

Sensor suhu LM35 dapat mengubah perubahan temperature menjadi perubahan tegangan pada bagian outputnya.Sensor suhu LM35 membutuhkan sumber tegangan DC +5 volt dan konsumsi arus DC sebesar 60 µA dalam beroperasi. Bentuk fisik sensor suhu LM 35 merupakan chip IC dengan kemasan yang bervariasi, pada umumnya kemasan sensor suhu LM35 adalah kemasan TO-92.

2.9.2 Cara Kerja LM 35

Sensor LM35 bekerja dengan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan.Tegangan ideal yang keluar dari LM35 mempunyai perbandingan 100°C setara dengan 1 volt. Sensor ini mempunyai pemanasan diri (self heating)

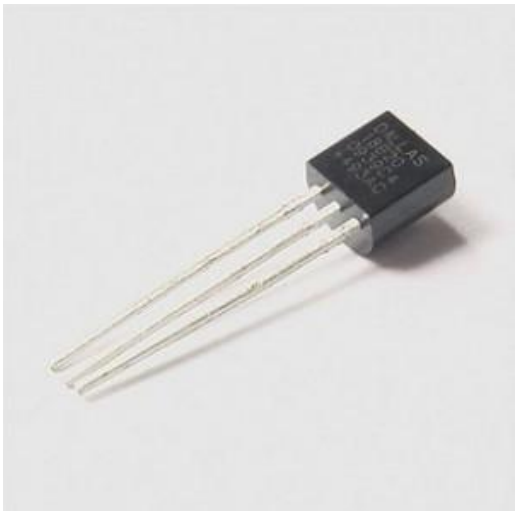
kurang dari 0,1°C, dapat dioperasikan dengan menggunakan power supply tunggal dan dapat dihubungkan antar muka (interface) rangkaian control yang sangat mudah.IC LM 35 sebagai sensor suhu yang teliti dan terkemas dalam bentuk Integrated Circuit (IC), dimana output tegangan keluaran sangat linear terhadap perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai pegubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar 10 mV /°C yang berarti bahwa kenaikan suhu 1° C maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 10 mV.

IC LM 35 ini tidak memerlukan pengkalibrasian atau penyetelan dari luar karena ketelitiannya sampai lebih kurang seperempat derajat celcius pada temperature ruang. Jangka sensor mulai dari – 55°C sampai dengan 150°C, IC LM35 penggunaannya sangat mudah, difungsikan sebagai kontrol dari indikator tampilan catu daya terbelah. IC LM 35 dapat dialiri arus 60 μ A dari supplay sehingga panas yang ditimbulkan sendiri sangat rendah kurang dari 0°C di dalam suhu ruangan.Untuk mendeteksi suhu digunakan sebuah sensor suhu LM35 yang dapat dikalibrasikan langsung dalam C (celcius), LM35 ini difungsikan sebagai basic temperature sensor.

Secara prinsip sensor akan melakukan penginderaan pada saat perubahan suhu setiap suhu 1 ºC akan menunjukan tegangan sebesar 10 mV. Pada penempatannya LM35 dapat ditempelkan dengan perekat atau dapat pula disemen pada permukaan akan tetapi suhunya akan sedikit berkurang sekitar 0,01 ºC karena terserap pada suhu permukaan tersebut. Dengan cara seperti ini diharapkan selisih antara suhu udara dan suhu permukaan dapat dideteksi oleh sensor LM35 sama dengan suhu disekitarnya, jika suhu udara disekitarnya jauh

lebih tinggi atau jauh lebih rendah dari suhu permukaan, maka LM35 berada pada suhu permukaan dan suhu udara disekitarnya .

Jarak yang jauh diperlukan penghubung yang tidak terpengaruh oleh interferensi dari luar, dengan demikian digunakan kabel selubung yang ditanahkan sehingga dapat bertindak sebagai suatu antenna penerima dan simpangan didalamnya, juga dapat bertindak sebagai perata arus yang mengkoreksi pada kasus yang sedemikian, dengan mengunakan metode *bypass* kapasitor dari V_{in} untuk ditanahkan.



Gambar 6. Sensor LM 35

2.10 Rumus Perhitungan

2.10.1 Neraca Panas

Untuk perhitungan kerja alat penukar panas, pada dasarnya menggunakan persamaan : $Q = m \times cp \times \Delta t$

$$\Delta t = T1 - T2 \text{ atau } t1 - t2$$

Keterangan : Q = jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr)

m = laju alir massa (lb/hr)

cp = Specific heat (Btu/lb ^{o}F)

Δt = perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (^{o}F)

T1 = Temperatur masuk fluida panas (^{o}F)

t1 = Temperatur masuk fluida dingin (^{o}F)

T2 = Temperatur keluar fluida panas (^{o}F)

t2 = Temperatur keluar fluida dingin (^{o}F)

2.10.2 Selisih Temperatur Sebenarnya

Menghitung LMTD (Logaritmic Mean Temperature Difference)

$$\Delta t \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{ln\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

$$\Delta t = \Delta t \text{ LMTD x FT}$$

a. untuk 1-2 exchanger FT > 0,75. jika FT pada 1-2 Exchanger < 0,75 maka gunakan 2-4 Exchanger.
b. Untuk 2-4 exchanger FT > 0,9 untuk removable longitudinal baffle. FT 0,85 untuk welded longitudinal baffle.
c. FT dihitung karena di dalam tube terjdi perubahan arah aliran. Sebagai contoh untuk 1-2 exchanger, lewatan merupakan gabungan antara aliran searah dan lawan arah. Dengan demikian dalam 1-2 exchanger tersebut jika dihitung LMTD untuk counter current maka harus dihitung faktor koreksi FT nya.

2.10.3 Temperatur Caloric (Tc dan tc)

Temperatur caloric ditafsirkan sebagai temperatur rata-rata fluida yang terlibat dalam pertukaran panas.

a. Temperatur rata-rata fluida yang terlibat dalam pertukaran panas

b. Dihitung untuk fluida dengan viskositas > 1 Cp.

$$Tc = T2 + Fc(T1-T2)$$

$$tc = t1 + Fc(t2-t1)$$

2.10.4 Luas Aliran (Flow Area)

a. Shell side

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times P_T}$$

Keterangan :

a_s = Flow area shell side (ft^2)

ID = Diameter dalam tube (in)

C’ = Daerah bebas antara tube dengan tube (in)

B = Jarak antara baffles (in)

P_T = Jarak antara tube (in)

b. Tube side

$$a_t = \frac{Ntxa't}{11 \times n}$$

Keterangan :

a_t = Flow area tube per pass (ft^2)

Nt = Jumlah tube

a't = Luas aliran tiap tube (in)

n = Jumlah pass

2.10.5 Kecepatan Aliran Massa

$$Gs = \frac{Ws}{a_s}$$

$$Gt = \frac{Wt}{a_t}$$

Keterangan :

Gs = Massa velocity per cross section area shell side ($lb/hr.Ft^2$)

Ws = Berat fluida pada shell side (lb/hr)

a_s = Flow area shell side (ft^2)

Gt = Massa velocity per cross section area tube side ($lb/hr.Ft^2$)

Wt = Berat fluida pada tube side (lb/hr)

a_t = Flow area tube (ft^2)

2.10.6 Bilanga Reynold (Re)

a. Shell side

$$Re_s = \frac{D_e x G_s}{\mu}$$

Keterangan :

Re_s = Bilangan reynold shell side

Gs = Massa velocity shell side ($lb/hr.Ft^2$)

D_e = Diameter ekivalen (ft)

μ = Viskositas fluida dingin pada tc (lb/hr.ft^2)

b. Tube side

$$Re_t = \frac{IDx\,G_t}{\mu}$$

Keterangan :

Re_t = Bilangan reynold shell side

Gt = Massa velocity tube side (lb/hr.ft^2)

D_e = Diameter ekivalen (ft)

μ = Viskositas fluida dingin pada tc (lb/hr.ft^2)

2.10.7 Faktor Perpindahan Panas

Faktor perpindahan panas dapat di peroleh dari fig. 28 pada buku ”Process Heat Transfer” dengan menggunakan data bilangan Reynold baik untuk sisi tube dan sisi shell , serta harga L/D yang merupakan perbandingan panjang dengan diameter shell.

Koefisien Perpindahan Panas (Film Coeficient)

a. Shell side

$$\frac{ho}{\emptyset s} = JH\,\frac{k}{D}\left[\frac{cx\mu}{k}\right]^{1/3}$$

Keterangan :

ho = Heat Transfer coeficient outside tube (Btu/hr.ft^2.^{o}F)

JH = Heat Transfer factor

k = Konduktivitas thermal (Btu/hr.ft^2.^{o}F)

De = Diameter ekivalen (ft) dari fig. 28, kern

c = Kapasitas panas (Btu/lb.^{o}F)

μ = Viskositas (lb/hr.ft)

$\emptyset_s$ = Viskositas ratio $((\mu/\mu_w)^{0,14})$

b. Tube side

$$\frac{hi}{\emptyset t} = JH \frac{k}{D}\left[\frac{cx\mu}{k}\right]^{1/3}$$

Keterangan :

hi = Heat Transfer coeficient inside tube (Btu/hr.ft^2.^{o}F)

JH = Heat Transfer factor

k = Konduktivitas thermal (Btu/hr.ft^2.^{o}F)

De = Diameter ekivalen (ft) dari fig. 28, kern

c = Kapasitas panas (Btu/lb.^{o}F)

μ = Viskositas (lb/hr.ft)

$\emptyset_t$ = Viskositas ratio $((\mu/\mu_w)^{0,14})$

$$\frac{hio}{\emptyset t} = \frac{ho}{\emptyset t} x \frac{IDt}{ODt}$$

ID/OD = Perbandingan antara inside dengan outside diameter tube

2.10.8 Temperature Dinding Tube (t_w)

$$t_w = t_c + \frac{\frac{ho}{\emptyset S}}{\frac{hio}{\emptyset t} + \frac{ho}{\emptyset S}} \text{ x } (T_C - t_w)$$

Keterangan :

t_w = Temperatur dinding tube (^{o}F)

$\emptyset_t$ = Viskositas ratio $((\mu/\mu_w)^{0,14})$

2.10.9 Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan untuk Permukaan Bersih

$$Uc = \frac{hio\,x\,ho}{hio + ho}$$

Keterangan : Uc = Clean overall heat transfer coefficient (Btu/hr.ft^2.^{o}F)

2.10.10 Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan (Ud)

$$Ud = (Q / A)\ \Delta t$$

Keterangan :

Ud = Design overall heat transfer coefficient (Btu/hr.ft^2.^{o}F)

Δt = LMTD terkoreksi (^{o}F)

A = Luas permukaan perpindahan panas(ft^2/ft)

Harga A dapat diketahui dari data atau dengan rumus :

$$A = a \times L \times Nt$$

Keterangan :

a = External surface per ft (ft^2/ft)

L = Panjang tube

Nt = Jumlah tube

2.10.11 Faktor Kotor Tube Sebelah Luar (Rd)

$$Rd = \frac{Uc - UD}{Uc\,x\,UD}$$

Keterangan : Ud = Dirt factor (hr^2.ft.^{o}F/ft)

2.10.12 Pressure Drop Shell Side

$$\Delta P1 = \frac{f x\, Gt^{2} x L x n}{5.22.10^{10} x D x s x\, \Phi t}$$

$$\Delta Pr = \left[\frac{4nx\, v^{2}}{sx\ 2g}\right]$$

$$\Delta Ptube = \Delta Pt + \Delta P1$$

Keterangan :

ΔP1 = Pressure drop tube side (Psi)

F = fraction factor (ft^2/ft)

Gt = Massa velocity tube side ($lb/hr.ft^2$)

D_t = Diameter ekivalen (ft)

L = Panjang tube

n = Jumlah pass (pcs)

Dc = Diameter ekivalen (ft)

S = Specific gravity

Φt = Viskositas ratio $((\mu/\mu_w)^{0,14})$

ΔP_t = Specific gravity

ΔP_T = Specific gravity

$(V^2/2g)$ diperoleh dari fig. 27,D.Q. Kern