

HEAT EXCHANGER

⇒ Mekanisme perpindahan panas :

- Konduksi : perpindahan panas melalui suatu benda oleh perpindahan momentum dari molekul atau atom tanpa proses pencampuran.
Contoh : aliran panas melalui dinding metal.
- Konveksi : perpindahan panas dari fluida panas ke bagian yang dingin dengan pengadukan.
Contoh : memasak air
- Radiasi : proses aliran panas dari fluida yang bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu rendah bila fluida tersebut terpisah dalam suatu ruang tanpa menggunakan medium.

⇒ Alat penukar panas :

- Alat yang difungsikan untuk mengakomodasikan perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin dengan adanya perbedaan temperatur.
- Karena panas yang dipertukarkan terjadi dalam sebuah sistem maka kehilangan panas dari suatu benda akan sama dengan panas yang diterima benda lain.

⇒ Kemampuan untuk menerima panas dipengaruhi oleh 3 hal :

- Koefisien *overall* perpindahan panas (U)
menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dan juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi.
- Luas bidang yang tegak lurus terhadap arah perpindahan panas.
Karena luas perpindahan panas tidak konstan, sehingga dalam praktek dipilih luas perpindahan panas berdasarkan luas dinding bagian luar.
- Selisih temperatur rata-rata logaritmik (ΔT LMTD).
LMTD : perbedaan temperatur yang dipukul rata-rata setiap bagian HE.
Karena perbedaan temperatur di setiap bagian HE tidak sama.



⇒ Keuntungan shell & tube exchanger :

- Memiliki permukaan perpindahan panas persatuan volume yang lebih besar
- Mempunyai susunan mekanik yang baik dengan bentuk yang cukup baik untuk operasi bertekanan.
- Tersedia dalam berbagai bahan konstruksi
- Prosedur pengopersian lebih mudah
- Metode perancangan yang lebih baik telah tersedia
- Pembersihan dapat dilakukan dengan mudah

⇒ Penentuan fluida dalam shell atau tube :

- Fluida bertekanan tinggi dialirkan di dalam tube karena tube standar cukup kuat menahan tekanan yang tinggi.
- Fluida berpotensi fouling dialirkan di dalam tube agar pembersihan lebih mudah dilakukan.
- Fluida korosif dialirkan di dalam tube karena pengaliran di dalam shell membutuhkan bahan konstruksi yang mahal yang lebih banyak.
- Fluida bertemperatur tinggi dan diinginkan untuk memanfaatkan panasnya dialirkan di dalam tube karena dengan ini kehilangan panas dapat dihindarkan.
- Fluida dengan viskositas yang lebih rendah dialirkan di dalam tube karena pengaliran fluida dengan viskositas tinggi di dalam penampang alir yang kecil membutuhkan energi yang lebih besar.
Fluida dengan viskositas tinggi ditempatkan di shell karena dapat digunakan baffle untuk menambah laju perpindahan.
- Fluida dengan laju alir rendah dialirkan di dalam tube. Diameter tube yang kecil menyebabkan kecepatan linier fluida (velocity) masih cukup tinggi, sehingga menghambat fouling dan mempercepat perpindahan panas.
- Fluida yang mempunyai volume besar dilewatkan melalui tube, karena adanya cukup ruangan.

⇒ Analisa kinerja HE :

1. Koefisien *overall* perpindahan panas (U)

menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dan juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi.

2. Fouling factor (Rd)

- *fouling* adalah peristiwa terakumulasinya padatan yang tidak dikehendaki di permukaan Heat Exchanger yang berkontak dengan fluida kerja, termasuk permukaan heat transfer. Peristiwa tersebut adalah pengendapan, pengerakan, korosi, polimerisasi dan proses biologi.

- Angka yang menunjukkan hambatan akibat adanya kotoran yang terbawa fluida yang mengalir di dalam HE.

- Penyebab terjadinya fouling :

- Adanya pengotor berat yaitu kerak keras yang berasal dari hasil korosi atau *coke* keras.
- Adanya pengotor berpori yaitu kerak lunak yang berasal dari dekomposisi kerak keras.

- Akibat fouling :

- mengakibatkan kenaikan tahanan heat transfer, sehingga meningkatkan biaya, baik investasi, operasi maupun perawatan.
- ukuran Heat Exchanger menjadi lebih besar, kehilangan energi meningkat, waktu shutdown lebih panjang dan biaya perawatan meningkat.

- Variabel operasi yang berpengaruh terhadap fouling :

- Kecepatan Linier Fluida (Velocity)

Semakin tinggi kecepatan linier fluida, semakin rendah kemungkinan terjadinya fouling. Sebagai batasan dalam rancangan dapat digunakan nilai-nilai berikut:

1). Kecepatan fluida proses di dalam tube adalah 3 – 6 ft/s

2). Kecepatan fluida pendingin di dalam tube adalah 5 – 8 ft/s



3). Kecepatan fluida tube maksimum untuk menghambat terjadinya fouling adalah 10 – 15 ft/s

4). Kecepatan fluida shell adalah 1 – 3 ft/s.

- Temperature Permukaan dan Temperature Fluida

Kecepatan terbentuknya fouling akan meningkat dengan meningkatnya temperatur.

3. Pressure drop

- Untuk mengetahui sejauh mana fluida dapat mempertahankan tekanan yang dimilikinya selama fluida mengalir.

- Disebabkan oleh 2 hal :

- Friksi aliran dengan dinding

- Pembelokan aliran

- Jika ΔP terlalu besar:

- Disebabkan jarak antar baffle yang terlalu dekat

- Aliran menjadi lambat

- Perlu tenaga pompa yang besar

- Jika ΔP terlalu rendah

Perpindahan panas tidak sempurna

⇒ 3 tipe pembersihan HE :

- *Chemical / Physical Cleaning*

metode pembersihan dengan mensirkulasikan *agent* melalui peralatan biasanya menggunakan HCl 5-10%.

- *Mechanical Cleaning*

- *Drilling* atau *Turbining*

Pembersihan dilakukan dengan mendrill deposit yang menempel pada dinding *tube*.

- *Hydrojetting*

Pembersihan dilakukan dengan cara menginjeksikan air ke dalam *tube* pada tekanan yang tinggi, untuk jenis deposit yang lunak.

- Gabungan dari keduanya



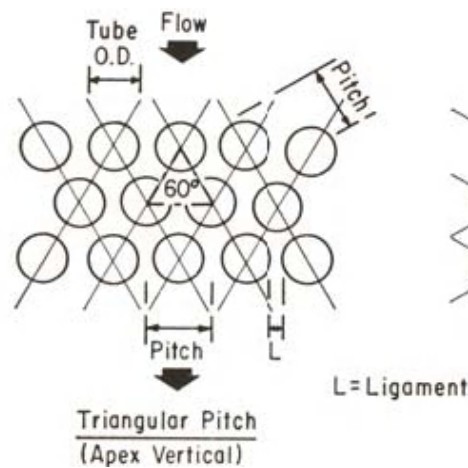
⇒ Komponen dasar penyusun HE

1. Tube

- Merupakan pipa kecil yang tersusun di dalam shell
- Aliran di dalam tube sering dibuat melintas lebih dari 1 kali dengan tujuan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas lapisan film fluida dalam tube.

• Tipe susunan tube

❶ Susunan Segitiga (*Triangular Pitch*).



- Keuntungan :

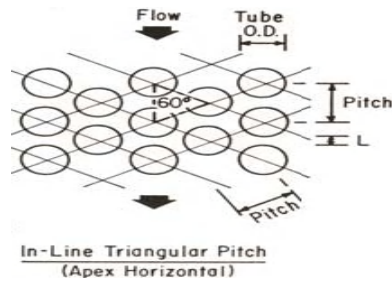
- Film koefisien lebih tinggi daripada square pitch.
- Dapat dibuat jumlah tube yang lebih banyak sebab susunannya kompak.

- Kerugian :

- Pressure drop yang terjadi antara menengah ke atas.
- Tidak baik untuk fluida fouling
- Pembersihan secara kimia

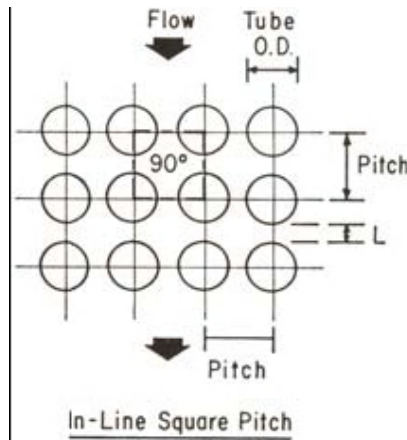


② Susunan Segitiga Diputar 30° (*Rotated Triangular Pitch*)



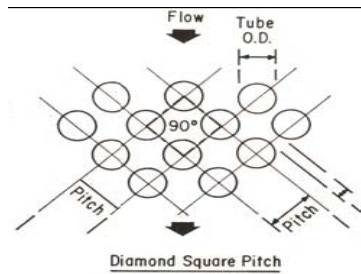
- Keuntungan :
 - o Film koefisiennya tidak sebesar susunan triangular pitch, tetapi lebih besar dari susunan square pitch.
 - o Dapat digunakan pada fluida fouling
- Kerugian :
 - o Pressure drop yang terjadi antara menengah ke atas.
 - o Pembersihan secara kimia

③ Susunan Bujur sangkar (*Square Pitch*)



- Keuntungan :
 - o Bagus untuk kondisi yang memerlukan pressure drop rendah.
 - o Baik untuk pembersihan luar tube secara mekanik.
 - o Baik untuk menangani fluuida fouling.
- Kerugian :
 - o Film koefisiennya relatif rendah

4 Susunan Bujur sangkar yang Diputar 45° (*Diamond Square Pitch*).



- Keuntungan :

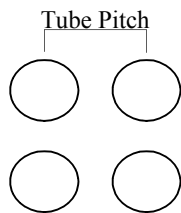
- o Film koefisiennya lebih baik dari susunan square pitch, tetapi tidak sebaik triangular pitch dan rotated triangular pitch.
- o Mudah untuk pembersihan dengan mekanik
- o Baik untuk fluida fouling.

- Kerugian :

- o Film koefisien relatif rendah
- o Pressure drop tidak serendah square pitch

• Tube pitch

Lubang yang tidak dapat dibor dengan jarak yang sangat dekat, karena jarak tube yang terlalu dekat akan melemahkan struktur penyangga tube.



• Clearance

Jarak terdekat antara 2 tube yang berdekatan



2. Tube Sheet

- Suatu flat lingkaran yang fungsinya memegang ujung-ujung tube dan juga sebagai pembatas aliran fluida di shell & tube

3.Baffle

Sekat-sekat yang digunakan untuk :

- Mengatur aliran lewat shell sehingga turbulensi yang tinggi akan diperoleh
- Menahan struktur tube bundle
- Menahan atau mencegah terjadinya getaran pada tube

4.Shell

- Merupakan bagian tengah alat penukar panas
- Merupakan tempat untuk tube bundle

5.Tube Side Channel dan Nozzle

Mengatur aliran fluida di tube

6.Channel Cover

Tutup yang dapat dibuka saat pemeriksaan dan pembersihan

⇒ BWG (Birmingham Wire Gage) yaitu menyatakan ukuran tebal tube. BWG kecil berarti tube semakin tebal dan sebaliknya.

⇒ Keuntungan HE countercurrent

Mempunyai LMTD yang besar, sehingga luas transfer panas yang dibutuhkan kecil, maka ukuran HE juga kecil.

⇒ Akibat terlalu banyak lewatan pada HE :

- ΔP besar
- Diperlukan tenaga untuk memompa yang besar
- Sulit dilakukan pembersihan karena banyak pipa belok

⇒ Pada HE, pendingin masuk lewat bawah, karena cairan akan memenuhi rongga atas terlebih dulu. Sedangkan pemanas (steam) masuk lewat atas, karena steam akan memenuhi rongga atas terlebih dahulu.



⇒ Rd hitung sebaiknya tidak melebihi 10% dari Rd required karena:

- Supaya HE dibersihkan setahun sekali
- Jika Rd terlalu besar U_D kecil perlu A yang besar, sehingga biaya mahal
- Jika rd terlalu kecil HE harus sering dibersihkan (< 1 tahun), sehingga biaya perawatan besar.

⇒ Langkah-langkah perancangan Shell & Tube Exchanger :

1. mencari Q (beban panas) dari neraca panas
2. menentukan Δt

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

$$\Delta t = \Delta t_{LMTD} \times F_T$$

- untuk 1-2 exchanger $F_T > 0,75$. jika F_T pada 1-2 Exchanger $< 0,75$ maka gunakan 2-4 Exchanger.
- Untuk 2-4 exchanger $F_T > 0,9$ untuk removable longitudinal baffle.
 $F_T 0,85$ untuk welded longitudinal baffle.

- F_T dihitung karena di dalam tube terjadi 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 countercurrent maka harus dihitung faktor koreksi F_T nya.

3. Assumsikan U_D sementara dari Tabel 8 Kern, 1965. Lalu hitung area heat transfer A dengan persamaan :

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t}$$

$A > 200 \text{ ft}^2$ gunakan shell & tube

$A < 100 \text{ ft}^2$ gunakan double pipe

Tentukan klasifikasi tube dari Tabel 10 Kern, 1965



$L = 6, 8, 12, 16, 20$ ft (pelatihan pegawai PT. PUSRI)
BWG, OD, a”

4. Tentukan jumlah tube

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''}$$

5. Koreksi U_D

6. Temperatur kalorik

- Temperatur rata-rata fluida yang terlibat dalam pertukaran panas
- Dihitung untuk fluida dengan viskositas > 1 cP.

$$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$$

$$t_c = t_1 + F_c(t_2 - t_1)$$

7. menghitung flow area

luas penampang yang tegak lurus arah aliran.

shell :

$$C' = P_T - OD$$

$$B = \text{maksimum} = ID_{\text{shell}} \text{ (pers. 11.3 Kern, 1965, hal 226)}$$

$$\text{Minimum} = ID_{\text{shell}}/5 \text{ (pers. 11.4 Kern, 1965, hal 226)}$$

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

tube :

$$a_t = \frac{N_t \times a' t}{144 \times n}$$

8. menghitung mass velocity (G)

shell :

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

tube :

$$G_t = \frac{W}{a_t}$$



9. menghitung bilangan reynold

shell :

$De = \dots$ in (fig. 28, Kern)

$$Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu}$$

tube :

$D = \dots$ in (Tabel 10, Kern)

$$Re_t = \frac{D \cdot G_t}{\mu}$$

10. menentukan heat transfer factor, J_H

shell :

Nilai J_H untuk *shell* didapat dari *figure 28* Kern

tube :

Nilai J_H untuk *tube* didapat dari *figure 24* kern

11. menentukan termal function

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3}$$

12. menentukan h_i & h_o

film koefisien h_i & h_o adalah suatu ukuran aliran panas per unit permukaan dan unit perbedaan temperatur yang mengindikasikan laju perpindahan panas.

shell :

$$h_o / \Phi_s = J_H \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{c_p \times \mu}{k} \right)^{1/3}$$

tube :

$$h_i / \Phi_t = J_H \times \frac{k}{D} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{1/3}$$

13. menentukan h_{i0}



$$h_{io} / \Phi_t = h_i / \Phi_t \times \frac{ID}{OD}$$

14. temperatur dinding t_w

$$t_w = t_c + \frac{ho / \Phi_s}{hio / \Phi_t + ho / \Phi_s} x (T_c - t_c)$$

15. koefisien h_i dan h_{io} terkoreksi pada temperatur dinding t_w

shell :

$$\Phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

$$h_o = \left(\frac{h_o}{\phi_s} \right) \times \phi_s$$

tube :

$$\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

$$h_i = \frac{h_i}{\Phi_t} \times \Phi_t$$

$$h_{io} = \frac{h_{io}}{\Phi_t} \times \Phi_t$$

16. U_c (koefisien perpindahan panas menyeluruh saat bersih)

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

17. R_d

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

R_d yang diperlukan = hr.ft².°F/btu (Tabel 8. Kern, 1965).

$R_{dhitung} \geq R_{diperlukan}$ (memenuhi)

18. ΔP

shell :



$f = \dots\dots$ (Fig. 29 Kern, 1965)

$$N+1 = 12.L/B$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times D_s \times (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \times D \times s \times \Phi_s}$$

tube :

$f = \dots\dots$ (figure 26, Kern)

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \cdot 10^{10} \times D \times s \times \Phi_t}$$

$$\Delta P_r = \left[\frac{4n}{s} \times \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$\Delta P_{\text{tube}} = \Delta P_t + \Delta P_r$$

HEAT EXCHANGER

1. Bagaimana caranya menghitung luas transfer panas yang diperlukan?
→ perlu diketahui:
 - Panas yang ditransfer, Q
 - Overall coefficient haet transfer, U_D
 - LMTD atau Δt .Maka luas transfer panas : $A = Q / (U_D \cdot \text{LMTD})$
2. Mengapa untuk menghitung temperatur drop dipakai LMTD?
→ karena beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada waktu masuk dan pada waktu keluar tidaklah sama dan kita perlu menentukan nilai suhu rata2 untuk digunakan dalam persamaan.
3. Apa pengaruhnya terhadap operasi, besar kecilnya pressure drop?
→ Besar kecilnya ΔP karena dipengaruhi faktor gesekan empirik (f) yang mana berbanding lurus terhadap bilangan reynold (Nre).
Maka : jika ΔP besar → f besar → Nre besar diakibatkan baffel space terlalu dekat, ini dapat menyebabkan aliran lambat sehingga dibutuhkan tenaga pompa yang besar.
Jika ΔP kecil, ini diharapkan tetapi kalau terlalu rendah dari yang ditentukan akibatnya perpindahan panasnya tidak sempurna.
4. Mengapa volatilitas fluida dalam HE dibatasi?
→ sebab bilamana tidak dibatasi cenderung untuk terjadinya terak, bila air di dalam pipa yang mengalir terlalu pelan, dapat mengakibatkan kotoran dan lumpur dari mikroorganisme melekat pada pipa..
velocity yang diizinkan untuk air tidak kurang dari 3 fps.
5. Bagaimana menentukan zat mana yang melalui tube atau shell?
→ Tube :

- i. Fluida dengan tekanan tinggi
 - ii. Yang korosif
 - iii. Yang fouling factornya besar.
- Shell :
 - i. Fluida dengan volume relatif besar.
 - ii. Yang sangat viskous (kental).
 - iii. $(\Delta P)_{\max}$ kecil
6. Mengapa Shell and tube banyak dipakai dalam industri kimia?
 - Karena shell and tube :
 - Luas permukaan besar
 - Velocity dalam tube besar
 - Turbulen tinggi
 - Heat transfer tinggi
7. Cooler : alat pendingin dimana panas yang diberikan tidak digunakan
Kondensor: alat untuk mengembunkan suatu fluida dari fase uap sampai ke titik pengembunan pada suhu yang sama atau yang lebih rendah lagi.
Reboiler : APP yang berfungsi untuk menguapkan suatu fluida cair dengan mengambil panas dari fluida pemanas.
Heat Exchanger :APP yang berfungsi untuk memanfaatkan panas dimana fluida panas yang harus didinginkan diambil oleh fluida lain yang harus dipanaskan.
8. Fouling factor (faktor pengotor) yi: faktor yang mempengaruhi permukaan perpindahan panas sebagai akibat :
 - Terbentuknya endapan yang biasa terdapat dalam sistem aliran
 - Permukaan yang mengalami korosi sebagai akibat interaksi fluida dengan bahan yang digunakan dalam kontruksi penukar panas.

LANGKAH-LANGKAH PERANCANGAN HE

- a. Mencari Q beban HE → dicari dengan data paling lengkap dari kedua aliran fluida (pemanas/pendingin)
- b. Menentukan Δt : LMTD
- c. Kebutuhan steam / air pendingin