

EXTERNAL CONDENSATE PREHEATER SEBAGAI PEMANAS AIR CONDENSATE PLTGU BELAWAN

TUGAS AKHIR

Disusun Dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Mencapai
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

AGUSMAN TANJUNG
NIM : 02.813. 0007



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2006**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 27/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)27/12/23



ABSTRAK

Dalam membangun pembangkit tenaga yang perlu diperhatikan adalah masalah efisiensi, misalnya PLTGU. Telah dikenal sebagai pembangkit listrik yang mempunyai efisiensi yang relatif tinggi. Dimana gas buang yang dihasilkan PLTG dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air boiler sehingga dapat memproduksi uap untuk memutar turbin uap dan turbin uap memutar generator sehingga dapat menghasilkan tenaga listrik.

Turbine uap adalah merupakan suatu mesin konversi yang melibatkan banyak peralatan pendukung (alat bantu) yang mendukung pengoperasiannya.

Salah satu peralatan pendukung turbin uap adalah external condensate preheater gunanya untuk memanaskan air condensate sebelum dimasukkan ke dalam boiler. External condensate preheater ini adalah mencegah menempelnya sulfur (S) pada pipa pemanas bertemperatur rendah. Dan efek menempelnya belerang (sulfur) dapat mengakibatkan terhambatnya perpindahan panas pada pipa boiler. Dan terjadinya korosi pada pipa.

ABSTRAK

In devolving of power plant what need to be paid attention is the problem of efficiency for example power station of energy gas and vapour (PLTGU) have been known as by power station having efficiency which high relative where gas throw which as yielded by gas turbine se-exploited to heat water in boiler so that can produce vapour to turn around steam turbine and steam turbin turn around generator so that can yield electric power.

Steam turbine is to represent on machine convert energy entangling many equipments of supporter cappliance assist supporting its operating.

One of the auxiliary steam turbine is external condensate preheater. The function is to heat air condensate prior to be incorporated into boiler. The external condensate preheater is used when the turbine gas uses a high solar diesel (HSD). The air of heating is to prevent an attachment of sulphur (S) to the lower temperature heater. And the effect of such an attachment of sulphur is the delayed of heat on boiler piping and corrosion on the piping.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	3
1.3. Pembatasan Masalah.....	3
1.4. Metodologi.....	4
1.5. Sistem Penulisan.....	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas.....	7
2.2. Cara-Cara Perpindahan Panas.....	7
2.2.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi (Conduction) ...	7
2.2.2. Perpindahan Panas Secara Radiasi (Radiation)	9
2.2.3. Perpindahan Panas Secara Konveksi (Convektion) ...	10
2.3. Fungsi-Fungsi Alat Penukar Kalor.....	12

2.3.1. Alat Penukar Kalor 1 – 2 Pass	12
2.4. Jenis-Jenis Aliran (Flow) Media Pemanas/Pendingin.....	12
2.4.1. Aliran Searah (Direct Flow)	12
2.4.2. Aliran Berlawanan Arah (Counter Flow)	13
2.4.3. Aliran Berpotongan (Cross Flow).....	14
2.5. Bentuk-Bentuk/Tipe Alat Penukar Kalor	14
BAB III : METODE PENELITIAN BAHAN	17
3.1. Konstruksi Alat Penukar Kalor	17
3.2. Pemilihan Bahan	18
3.3. Syarat-Syarat Pemilihan dan Bahan Tube	18
3.4. Perhitungan Tegangan Pada Tube.....	20
3.5. Pelat Tube.....	23
3.6. Tebal Pelat Tube.....	25
3.7. Tie Rods dan Spocer.....	25
3.8. Pengikatan Tube dengan Pelat Tube.....	27
3.9. Pemilihan Cangkang (Shell).....	28
3.9.1. Jenis-Jenis Cangkang.....	28
3.9.2. Tebal Cangkang.....	31
3.9.3. Ruang Bebas Pada Cangkang	32
3.9.4. Flens.....	33
3.9.5. Tegangan Longitudinal Pada Cangkang.....	33
3.9.6. Aliran Fluida Dalam Cangkang	33

3.10. Sekat (Baffle).....	39
3.10.1. Bentuk-Bentuk Sekat	39
3.10.2. Konstruksi Sekat Bentuk Segment	41
3.10.3. Tebal Sekat	45
3.10.4. Penentuan Jarak Antara Sekat.....	45
3.10.5. Ruang Bebas dan Toleransi Sekat	46
3.11. Susunan Tube	47
3.11.1. Tipe-Tipe Susunan Tube	48
BAB IV : PERHITUNGAN DAN DIMENSI ALAT PENUKAR	
KALOR	50
4.1. Aspek-Aspek Dalam Perencanaan	50
4.2. Pertimbangan Ekonomi	50
BAB V : KESIMPULAN	72
LITERATUR	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

BAB I

PENDAHULUAN



1.1. Latar Belakang

Kebutuhan tenaga listrik untuk keperluan industri, masyarakat, sangat erat hubungannya dengan laju pembangunan suatu bangsa. Oleh sebab itu pemerintah sekarang sedang mengusahakan penambahan mesin-mesin pembangkit listrik baru untuk memenuhi kebutuhan yang sangat mendesak, untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi Indonesia. Karena sekarang ini pertumbuhan ekonomi tidak sebanding dengan penyediaan tenaga listrik yang ada sehingga investor-investor yang akan masuk ke Indonesia ini ragu-ragu menanamkan modal usahanya. Karena tersedianya tenaga listrik untuk kelancaran usaha. Disamping menambah mesin-mesin tenaga listrik yang ada khususnya di Sumatera Utara. Keandalan dan efisiensi yang tinggi dalam pengoperasian mesin agar kebutuhan energi listrik pada masyarakat dan industri dapat berjalan lancar tanpa adanya pemadaman listrik.

Effisiensi merupakan hal yang sangat penting pada pengoperasian pembangkit tenaga listrik baik itu mesin yang memakai bahan bakar minyak, gas maupun mesin yang tidak menggunakan bahan bakar seperti PLTA.. Teknologi mesin pembangkit tenaga listrik yang dimiliki oleh PLN sektor Belawan sekarang ini yang dinilai mempunyai efisiensi yang tinggi adalah pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). Dimana PLTG beroperasi menggunakan bahan bakar minyak atau pun gas dicampur dengan udara di ruang bakar gas hasil pembakaran digunakan untuk memutar turbin gas, dimana temperatur gas buang setelah memutar turbin gas mencapai 530°C , gas panas ini dimanfaatkan untuk

memanaskan air di Heat Recovery Steam Generator (HRSG), adapun pemanas-pemanas yang ada pada HRSG (boiler) adalah :

- 1) High pressure super heater
- 2) High pressure evaporator
- 3) High pressure Economiser
- 4) Low pressure super heater
- 5) Low pressure evaporator
- 6) Condensat preheater

Air yang dipanaskan oleh HRSG (Boiler) akan menghasilkan uap bertemperatur tinggi, uap inilah yang digunakan untuk memutar/menggerakkan turbin uap (steam turbin).

Selain pemanas di atas yang ada pada HRSG (Boiler) ada lagi pemanas yang digunakan untuk memanaskan air condensat sebelum masuk ke dalam pemanas condensat preheater, adapun pemanas tersebut adalah External Condensate Preater.

External Condensate Preater digunakan bila gas turbin memakai bahan bakar minyak solar, yang tujuan adalah untuk memanaskan pipa pemanas pada sisi condensat preheater, agar tidak terjadi korosi, karena bila gas turbin memakai bahan bakar solar (High Speed Diesel), maka gas buang hasil pembakaran mengandung sulfur (S). Sulfur tersebut akan menempel pada pipa-pipa pemanas. Dan bila temperatur pipa pemanas condensat preheater $< 100^{\circ}\text{C}$ dibiarkan lama sampai batas waktu tertentu akan mengakibatkan boiler akan trip (stop otomatis. Dan bila boiler stop beroperasi, berarti mesin pembangkit mengalami defisit atau pengurangan daya atau pemadaman akan dilakukan sampai mesin dapat beroperasi kembali. Dan bila sulfur dibiarkan maka akan menyebabkan korosi pada pipa-pipa pada temperatur rendah. Adapun jenis pipa pemanas yang

bertemperatur rendah adalah kondensat preheater, pada pipa-pipa pemanas dijaga temperaturnya harus $> 120^{\circ}\text{C}$ yang

Dan untuk mencegah terjadinya menempel sulfur (S) tersebut maka diperlukan sebuah alat penukar kalor yang ditempatkan pada sisi air kondensat. Dimana sumber air pemanasnya supply atau disalurkan dari air high pressure economiser pada boiler dimana :

Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	: 290 $^{\circ}\text{C}$
Pressure (tekanan) (bar)	: 90 Bar
Laju aliran	: 14 kg/s

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penulisan hasil penelitian ini adalah untuk mengetahui berbagai metode heat transfer yang banyak dijumpai pada dunia industri dan dapat pula sebagai masukan bagi perusahaan tempat dimana melakukan penelitian sekaligus dapat diambil perbandingannya dengan dunia pendidikan sekarang ini. kesimpulan dari penulisan hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat untuk lancarnya operasi pembangkit tenaga listrik tenaga gas dan uap (PLTGU).

Tujuan utama dari penulisan ini adalah :

- 1) Untuk mencoba menerapkan rumus-rumus empiris yang ada pada buku literatur perpindahan panas yang sesuai dengan kenyataan di lapangan.
- 2) Untuk memahami prinsip kerja dari alat penukar kalor external preheater (pemanas) dimana ini dari high pressure economiser sebagai fluida panas dan air kondensat sebagai fluida yang dipanaskan.

1.3. Pembatasan Masalah

Masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah khusus mengenai prinsip-prinsip perpindahan panas eksternal preheater pada sistem air condensat

PLTGU sebagai air umpan pada boiler. PLTGU hasil penelitian akan dititik beratkan pada :

- 1) Perhitungan dan analisis alat penukar kalor
- 2) Perhitungan tegangan pada tube (pipa) alat penukar kalor
- 3) Perhitungan pelat tube (pipa) alat penukar kalor
- 4) Perhitungan tebal pelat tube (pipa) alat penukar kalor

1.4. Metodologi

Penulisan hasil penelitian ini berdasarkan pada :

- 1) Penelitian kepustakaan (*library research*) merupakan cara pengumpulan data teoritis atau histeris yang khusus membahas tentang masalah Heat Transfer perpindahan panas dan Heat Exchanger alat penukar kalor
- 2) Penelitian lapangan, yang merupakan cara penelitian langsung dan telah dilakukan di PT. PLN (Persero) sektor pembangkitan Belawan.

1.5. Sistem Penulisan

Bab I Dalam penelitian ini menguraikan tentang tinjauan umum, maksud dan tujuan, pembatasan masalah dan metodologi

Bab II Berisikan pengertian tentang perpindahan panas, tinjauan tentang alat penukar kalor

Bab III Metode penelitian bahan tube-tube, alat penukar kalor yang meliputi tentang kontruksi alat penukar kalor, panas yang diserap air kondensat pada proses heat transfer

Bab IV Perhitungan-perhitungan dan analisis alat penukar kalor, tegangan pada tube, pelat tube tebal, pelat tube, alat penukar kalor

Bab V Kesimpulan sebagai penutup serta lampiran-lampiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Yang dimaksud dengan “Alat Penukar Kalor” (*heat exchanger*) ialah suatu alat untuk menerima atau mengeluarkan kalor (panas) dari suatu media kepada media lainnya atau dapat juga disebut alat/sarana perpindahan sebahagian panas dari suatu daerah/media yang yang lebih panas ke daerah/media yang lebih dingin. Secara garis besar alat penukar kalor berfungsi sebagai pemanas (heater) dan sebagai pendingin (cooler).

2.1. Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas

Panas (kalor) dapat berpindah lewat benda padat, cair atau gas. Apabila ada perbedaan panas (suhu) dari suatu benda ke benda lainnya, maka diantara benda tersebut akan terdapat laju perpindahan panas sebesar q (Btu/h ; watt ; $\frac{j}{s}$; satuan energi/satuan waktu) dan jumlah panas yang berpindah sebesar Q (Btu ; Joule). Untuk memindahkan panas sejumlah q (Btu/h ; watt ; $\frac{j}{s}$; satuan energi/satuan waktu) dibutuhkan media pendingin sejumlah Q ($\frac{\text{satuan isi}}{\text{satuan waktu}}$) dan luas permukaan perpindahan kalor A (Satuan Luas) dengan menggunakan “Alat Penukar Kalor” (Heat Exchanger). Laju perpindahan/penerimaan panas tergantung dari besar kecilnya daya hantaran panas (koefisien perpindahan panas), maupun order besaran konduktivitas termal dari suatu benda (bahan) serta luas permukaan perpindahan panas. Setiap benda (material) yang berbeda, tentu mempunyai daya hantaran panas/koefisien perpindahan panas yang berbeda pula.

Berikut ini dalam tabel 2.1. dan tabel 2.2 ditunjukkan orde besaran konduktivitas termal dan orde besaran koefisien perpindahan panas konveksi dari beberapa macam bahan.

Tabel 2.1. Orde Besaran Konduktivitas Termal k dan Konvensi h_c

Bahan	Btu/h.ft ² .F	W/m ² .K
Bahan isolasi	0,02 ÷ 0,12	0,34 ÷ 0,21
Cairan bukan logam	0,05 ÷ 0,40	0,086 ÷ 0,69
Zat padat bukan logam (semen, bata, batu)	0,02 ÷ 1,50	0,034 ÷ 2,60
Logam cair	5,0 ÷ 45,0	8,60 ÷ 76,0
Paduan	8,0 ÷ 70,0	14,0 ÷ 120,0
Logam murni	30,0 ÷ 240,0	52,0 ÷ 410,0
Udara konveksi bebas	1,0 ÷ 5,0	6,00 ÷ 30,0
Udara konveksi paksa	5,0 ÷ 50,0	30,0 ÷ 300,0
Minyak konveksi paksa	10,0 ÷ 300,0	60,0 ÷ 1800,0
Air konveksi paksa	50,0 ÷ 2000,0	300,0 ÷ 6000,0

Dikutip dari buku Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Aeko Prijono, MSc, Edisi 3 halaman 8 & 13.

Tabel 2.2. Orde Besaran Konduktivitas Termal (k) dari beberapa metal

Bahan	K (Btu/hr.ft.F)				C (Btu/lb _m F)	p (lb _m /ft ³)	α (ft ² /h)
	32 F	212 F	572 F	932 F			
Logam							
Aluminium	117	119	133	155	0,208	169	3,33
Bismut	4,9	3,9	...	...	0,029	612	0,28
Tembaga murni	224	218	212	207	0,091	558	4,42
Emas	169	170	...	...	0,030	1203	4,68
Besi murni	35,8	36,6	...	...	0,104	491	0,70
Timbal	20,1	19	18	...	0,030	705	0,95
Magnesium	91	92	...	...	0,232	109	3,60
Air raksa	4,8	...	...	...	0,033	849	0,17
Nikel	34,5	34	32	...	0,103	555	0,60
Perak	243	238	...	...	0,056	655	6,6
Timah	36	31	...	...	0,054	456	1,46

Seng	65	61	69	...	0,091	446	1,60
Paduan							
Logam admiralti	65	64					
Kuningan 70% Cu, 30% Zn	66	60	66	...	0,092	532	1,14
Perunggu 75% Cu, 25% Zn	16	...	...	...	0,082	540	0,34
Besi tuang							
Biasa	33	31,8	27,7	24,8	0,11	474	0,63
Paduan	30	28,3	27	...	0,10	455	0,66
Konstantan, 60% Cu, 40% Ni	12,4	12,8	...	...	0,10	557	0,22
Baja tahan karat 18 - 8							
Tipe 304	8,0	9,4	10,9	12,4	0,11	488	0,15
Tipe 347	8,0	9,3	11,0	12,8	0,11	488	0,15
Baja lunak 1% C	26,5	26	25	22	0,11	490	0,49

Dikutip dari buku Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Aeko Prijono, MSc, Edisi 3 halaman 8 & 13.

2.2. Cara - cara Perpindahan Panas

Perpindahan panas pada umumnya mengenal 3 (tiga) cara yaitu perpindahan panas secara :

1. Konduksi (conduction), sering disebut perpindahan panas secara hantaran
2. Radiasi (radiation)
3. Konveksi (convection), sering disebut perpindahan panas secara ilian.

2.2.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi (Conduction)

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di

dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggung secara langsung.

Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang sangat besar. Menurut teori kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu.

Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energi dalam elemen zat.

Bila molekul-molekul di suatu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar dari pada yang dimiliki oleh molekul-molekul di satu daerah yang berdekatan sebagaimana diejawantahkan (diwujudkan) oleh adanya benda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energi yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bersuhu lebih rendah. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastik (*Elastic impact*) bila di dalam fluida atau dengan pembauran (*diffusion*) elektron-elektron yang bergerak secara lebih cepat dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah (misalnya dalam logam). Akibat dari konduksi panas, yang dapat diamati ialah penyamaan suhu.

Tetapi, jika beda suhu dipertahankan dengan penambahan an pembuangan panas di berbagai titik, maka akan berlangsung beraliran panas yang terus menerus dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin. Konduksi adalah satu-satunya dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi di dalam medium yang

bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi dan dalam beberapa hal juga tergabung dengan perpindahan panas secara radiasi.

Besarnya laju perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_k = k \cdot A (dT/dx)$$

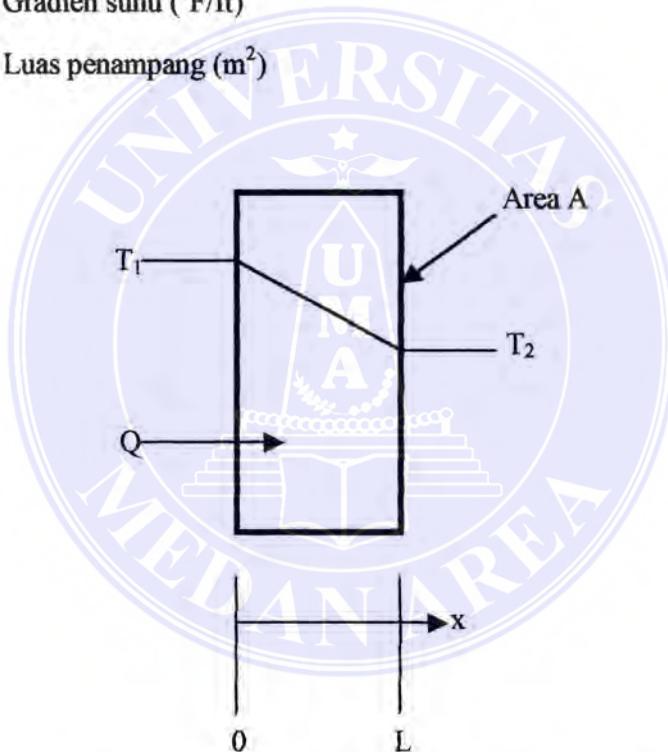
Dimana :

q_k = Laju aliran panas (Btu/h)

k = Koefisien perpindahan panas (Btu/h . ft² . °F)

(dT/dx) = Gradien suhu (°F/ft)

A = Luas penampang (m²)



Gambar 2.1. Skets Perpindahan Panas Secara Konduksi

2.2.2. Perpindahan Panas Secara Radiasi (Radiation)

Perpindahan panas secara radiasi ialah proses panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah dimana benda yang satu

dengan benda lainnya terpisah di dalam satu ruangan atau bahkan dalam ruangan hampa.

Panas berpindah lewat gelombang-gelombang elektro magnetik yang diakibatkan oleh suhu yang dapat mengangkut energi melalui medium yang tembus cahaya.

Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus menerus, intensitas pancaran tergantung kepada suhu dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s). besarnya jumlah perpindahan panas secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

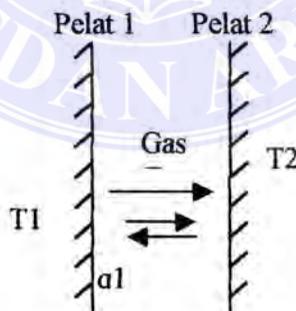
Dimana :

q_r = Jumlah aliran panas (watt)

σ = Konstanta Stefan - Boltzmann
 $= 5,67 \times 10^{-8}$ (Watt/m²K⁴)

T_1, T_2 = Derajat Kelvin (Δt)

A – Luas Penampang (m²)



Gambar 2.2. Skets Perpindahan Panas Secara Radiasi antara dua Pelat Sejajar

2.2.3. Perpindahan Panas Secara Konveksi (Convection)

Perpindahan panas secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan

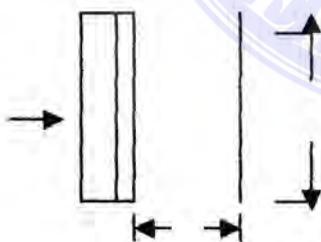
mencampur. Cara konveksi adalah mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya, berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida ini. kemudian partikel-partikel fluida akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur.

Perpindahan panas Konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*), menurut cara menggerakkan alirannya.

Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu, disebut konveksi bebas alamiah (*natural*), dan bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, misalnya pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Besarnya laju perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_c = hc \cdot A (\Delta T)$$



Dimana :

q_c = Laju perpindahan panas (Btu/h)

ΔT = Beda suhu-suhu masuk dan keluar ($^{\circ}F$)

A = Luas penampang perpindahan panas (m^2)

H_c = Koef. Perpindahan panas konveksi ($Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F$)

Gambar 2.3. Skets Perpindahan Panas Secara Konveksi

2.3. Fungsi-Fungsi Alat Penukar Kalor

Dalam kehidupan sehari-hari banyak digunakan alat penukar kalor, baik kebutuhan rumah tangga, kebutuhan umum, maupun kebutuhan industri, misalnya :

- 1) Pendingin air (water cooler)
- 2) Pendingin udara (air conditioning)
- 3) Pendingin air dingin (close cooling water)
- 4) Pendingin uap (steam condenser)
- 5) Pendingin minyak pelumas (lube oil cooler)
- 6) Pemanas udara (air heater)
- 7) Pemanas air (water heater), dan lain-lain

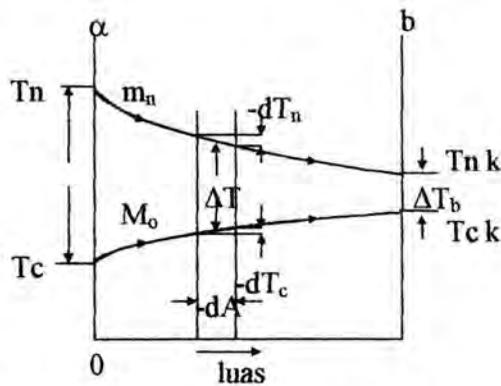
Yang disebut di atas adalah alat penukar kalor dengan media-media yang mengalir. Dalam bab berikut yang akan dibahas lebih detail adalah alat penukar kalor External Condensate Preheater (pemanas air condensate).

2.4. Jenis-Jenis Aliran (Flow) Media Pemanas/Pendingin

Ada beberapa jenis arah aliran (flow) media pemanas/pendingin yang dijumpai dalam teknik alat penukar kalor, antara lain :

2.4.1. Aliran Searah (Direct Flow)

Aliran semacam ini sering juga disebut aliran paralel ataupun aliran sejajar. Pada sistem ini arah aliran media pemanas/pendingin searah dengan arah aliran yang dipanaskan/didinginkan. Sketsa distribusi temperatur dalam penukar panas untuk aliran searah lintas tunggal seperti terlihat pada gambar 2.5.

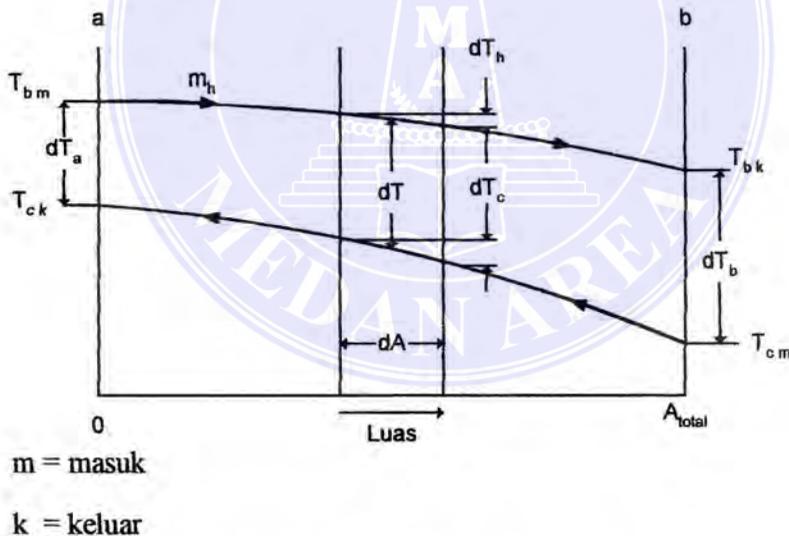


Gambar 2.4. Distribusi suhu dalam penukar kalor aliran searah lintas tunggal

Dikutip dari Arkoprijono, MSc. "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Edisi 3, 1994, hal. 554.

2.4.2. Aliran Berlawanan Arah (Counter Flow)

Pada sistem ini arah aliran media pemanas/pendingin berlawanan arah dengan arah aliran media yang dipanaskan/didinginkan. Distribusi temperatur dalam penukar panas aliran berlawanan (counter flow) lintas tunggal seperti terlihat pada gambar 2.6.

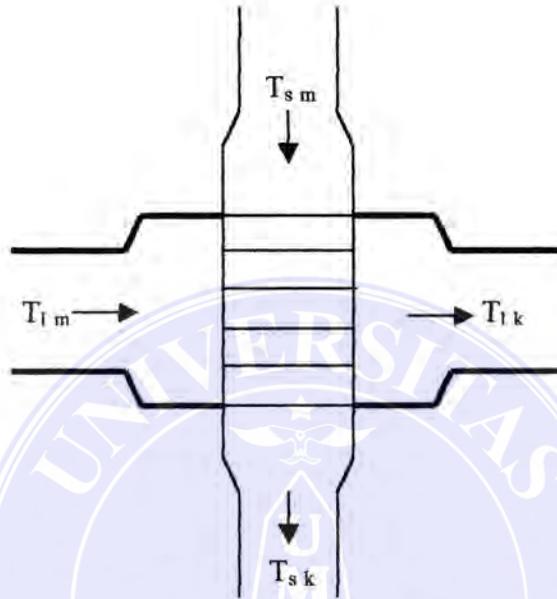


Gambar 2.5. Distribusi suhu dalam penukar kalor aliran berlawanan (Counter flow) lintas tunggal

Dikutip dari Arkoprijono, MSc. "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Edisi 3, 1994, hal. 554.

2.4.3. Aliran Berpotongan (Cross Flow)

Pada sistem ini arah aliran media pemanas/pendingin, berpotongan arah dengan arah aliran media yang dipanaskan/didinginkan (Gambar 2.6)



Gambar 2.6. Skets distribusi suhu penukar kalor aliran lintang (cross flow)

Dikutip dari Arkoprijono, MSc. "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Edisi 3, 1994, hal. 559.

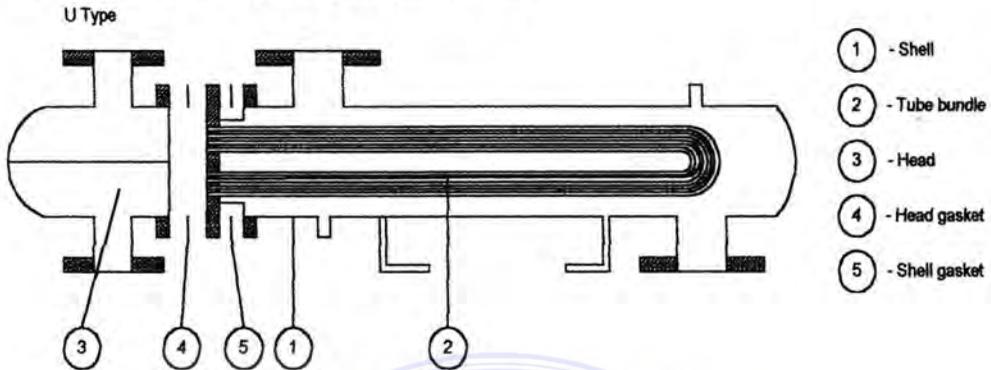
Untuk keseluruhan sistem di atas, antara media pemanas/media pendingin dengan media yang dipanaskan/didinginkan dibatasi oleh kisi-kisi atau pipa-pipa.

2.5. Bentuk-Bentuk./Tipe Alat Penukar Kalor

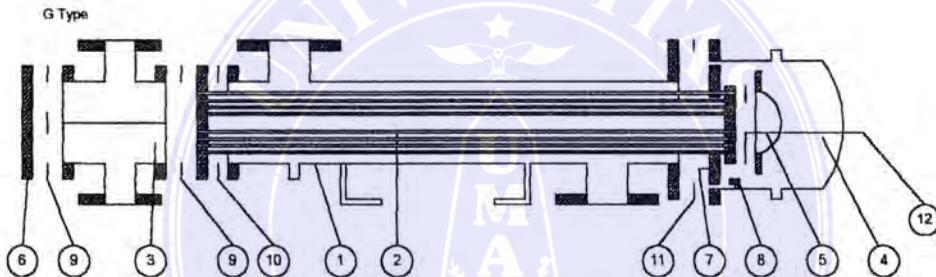
Pada paragraf 2.2. telah dibicarakan cara-cara perpindahan panas. Dalam hal ini akan dijelaskan perpindahan panas dengan cara "Konduksi konveksi" (gabungan) yaitu perpindahan panas lewat pipa-pipa pemanas/pendingin, dari material logam.

Ada 3 (tiga) bentuk/tipe alat penukar kalor yang menggunakan bundelan pipa pemanas/pendingin yaitu :

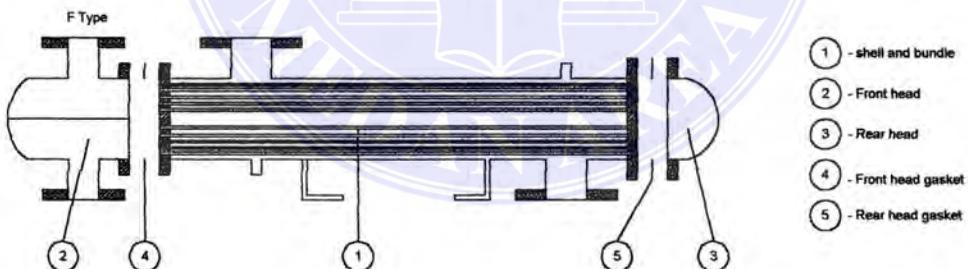
- 1) Tipe “U” (U – Type) seperti gambar 2.7.
- 2) Tipe “G” (G – Type) seperti gambar 2.8.
- 3) Tipe “F” (F – Type) seperti gambar 2.9.



Gambar 2.7. Alat Penukar Kalor Tipe “U”



2.8. Alat Penukar Kalor Tipe “G”



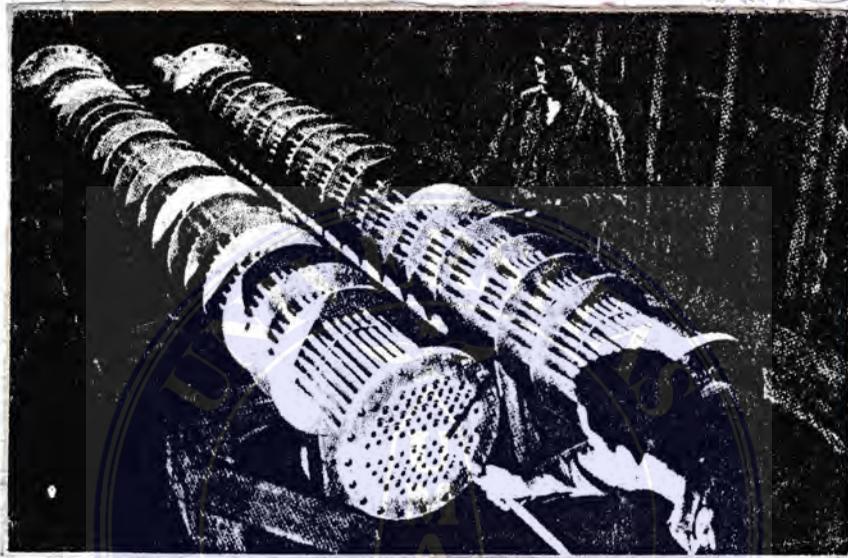
Gambar 2.9. Alat Penukar Kalor Tipe “F”

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. “Alat Penukar Kalor, 1993,

hal 20 dan 21

Dalam bahasan bab berikutnya adalah penukar kalor tipe “F” yang berfungsi sebagai pemanas air condensat. Tipe ini paling banyak digunakan pada industri-industri atau mesin-mesin pembangkit tenaga listrik yang

berdaya besar karena harganya lebih murah, simpel, dan mudah untuk pemeliharaan (membersihkan pipa-pipa pendingin/pemanasnya).



Gambar 2.10. Salah satu Bundel Alat Penukar Kalor

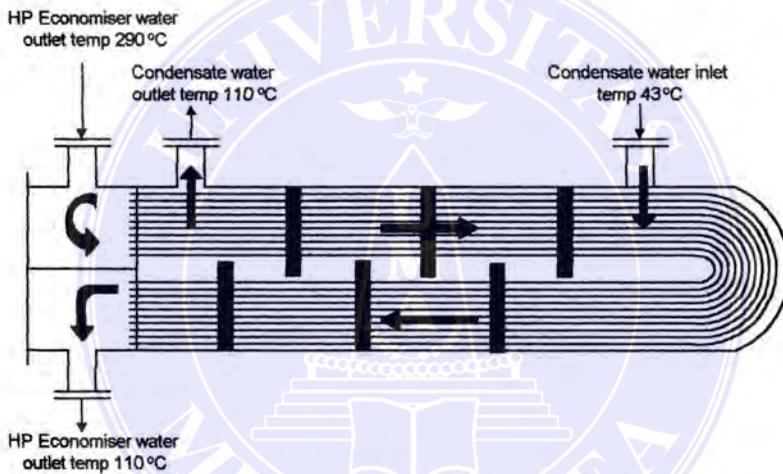
Dikutip dari Arkoprijono, MSc. "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Edisi 3, 1994, hal. 456.

BAB III

METODE PENELITIAN BAHAN

3.1. Konstruksi Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor yang ada di PLTU Belawan adalah tipe shell dan tube 1 x 2 pass dimana pada sisi shell (cangkang) dilakukan 1 kali lintasan dan pada tube (pipa) dilakukan dua kali lintasan dan stationary head yang dipakai tipe A, shell atau badan alat penukar kalor tipe U dan rear head tipe M.



Gambar 3.1. Sket Gambar External Condensate Preheater

Dikutip dari Siemens Training PLTGU, External Condensate Preheater, 1995, hal.3

- Fluida yang dipanaskan mengalir pada sisi luar pipa (dalam cangkang) adalah air condensate yang akan digunakan sebagai air pengisi ketel
- Fluida pemanas mengalir pada sisi dalam pipa (tube) adalah air panas bertekanan tinggi (HP economiser) yang bersumber dari ketel.
- Suhu air condensate (condensate water) masuk cangkang (shell)
 $T_{c1} = 43^{\circ}\text{C}$ (dari hasil survey)
- Suhu air condensate (condensate water) keluar cangkang (shell)

$T_{c2} = 110^{\circ}\text{C}$ (dari hasil survey)

- Suhu air pemanas (HP ekonomiser water) masuk pipa (tube)

$T_{h1} = 290^{\circ}\text{C}$ (diambil/direncanakan)

- Suhu air pemanas (HP ekonomiser water) keluar pipa (tube)

$T_{h2} = 110^{\circ}\text{C}$ (diambil/direncanakan)

- Jenis arah aliran berlawanan arah (counter flow)

Dimana :

T_{c1} = Temperatur air condensate masuk

T_{c2} = Temperatur air condensate keluar

T_{h1} = Temperatur air HP Economiser masuk

T_{h2} = Temperatur air HP Economiser keluar

3.2. Pemilihan Bahan Pipa (Tube)

Material pipa (tube) pada alat penukar kalor memegang peranan yang sangat penting dalam proses pemindahan panas antar fluida. Pada sisi dalam dan sisi luar tube mengalir fluida proses dengan properties dan variabel operasi yang berbeda-beda. Properties fluida yang dimaksudkan antara lain adalah unhoritas, massa jenis, kapasitas panas, PH, dan lain-lain. Sedangkan variabel yang dimaksud adalah tekanana laju aliran dan temperatur. Dengan demikian tube yang dipilih harus mendukung kerja penukar kalor hingga mampu beroperasi sesuai dengan variabel-variabel operasi yang ditetapkan.

3.3. Syarat-Syarat Pemilihan dan Bahan Tube

Dalam pemilihan tube yang akan digunakan pada penukar kalor, perlu diperhatikan beberapa persyaratan seperti tertera di bawah ini :

1. Nilai konduktivitas thermal yang tinggi
2. Memiliki daya tahan terhadap temperatur
3. Memiliki daya tahan terhadap korosi
4. Memiliki daya tahan terhadap erosi
5. Mampu dibentuk dengan proses panas dan dingin
6. Mempunyai sifat plastik yang baik

Jenis bahan yang biasa digunakan untuk tube antara lain adalah baja karbon, baja campuran rendah dan baja campuran tinggi, baja nikel atau campuran nikel, aluminium dan campuran aluminium, tembaga dan campuran tembaga dan lain-lain.

Untuk menentukan jenis bahan dan ukuran tube yang digunakan perlu diperhatikan hal-hal berikut yaitu :

1. Temperatur fluida proses
2. Tekanan fluida proses
3. Sifat-sifat fluida proses
4. Faktor pengotoran fluida
5. Periode pemeliharaan penukar kalor

Untuk menyatakan tebal tube digunakan satuan Brimingham Wire Gauge (BWG) semakin besar angka BWG maka tebal tube makin kecil.

Hal lain yang dipertimbangkan dalam pemilihan tube adalah ukuran panjang tube. Untuk suatu luas permukaan perpindahan panas tertentu, jika dipergunakan tube yang lebih panjang akan diperoleh kontruksi penukar kalor yang lebih kecil (ϕ kecil) sehingga biaya yang dibutuhkan untuk penukar kalor menjadi relatif lebih kecil. Pada perencanaan pendingin ini penulis memilih Carbon Steel (SS - 400).

3.4. Perhitungan Tegangan Pada Tube

Fluida yang mengalir di dalam dan di luar memiliki tekanan, laju aliran dan temperatur. Fluida bertekanan dalam tube ini menimbulkan tekanan (tegangan radial) dan tangensial yang besarnya tergantung pada diameter tube yang digunakan untuk mencari tegangan radial (T_r) dan tangensial (T_t) dan tegangan memanjang digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Tegangan tangensial terbagi rata ketebalan dinding tube
2. Pemuaian sepanjang keliling tube adalah tetap

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas maka tegangan-tegangan yang bekerja pada tube dapat dianalisa sebagai berikut :

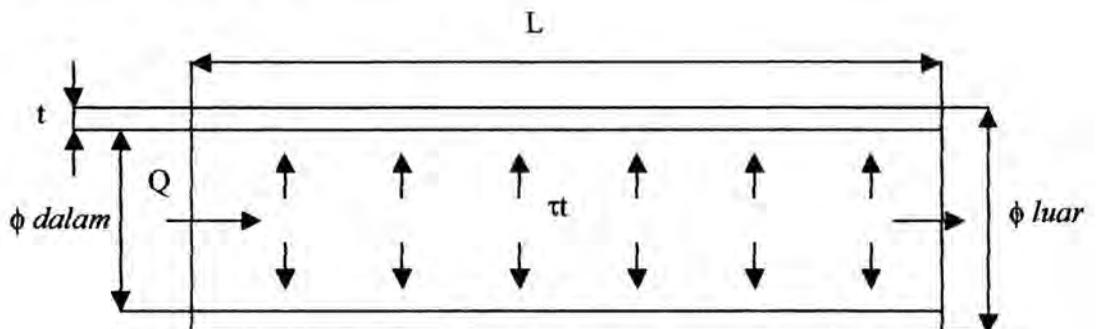
1. Tegangan Tangensial

Bila fluida yang mengalir dalam tube memiliki tekanan P_i maka tekanan P_i akan memperbesar dinding tube yang memiliki tebal t dan diameter dalam D_i maka gaya yang mengakibatkan terjadinya tekanan tersebut dapat dinyatakan oleh :

$$F = P_i \cdot d_i \cdot L \cdot \pi$$

Gaya yang timbul cenderung memisahkan kedua setengah lingkaran tube.

Gaya ini ditahan oleh tegangan tangensial (T_t) yang bekerja secara merata sepanjang bidang tegangan.



Gambar 3.2. Kerja Tegangan Tangensial

Sehingga dapat dinyatakan :

$$P_i \cdot d_i \cdot L = \tau_t \cdot 2t \cdot L$$

Selanjutnya tegangan tangensial pada tube

$$\tau_t = \frac{P_i \cdot d_i}{2 \cdot t}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, maka tegangan tangensial yang bekerja pada tube adalah :

$$\begin{aligned} \tau_t &= \frac{P_i \cdot d_i}{2 \cdot t} \\ &= \frac{1.125 \text{ kg/cm}^2 \cdot 16,5 \text{ cm}}{2 \cdot 1,5 \text{ cm}} \\ &= \frac{18,56}{3} = 6,2 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

P_i = Tegangan dalam tube (kg/cm^2)

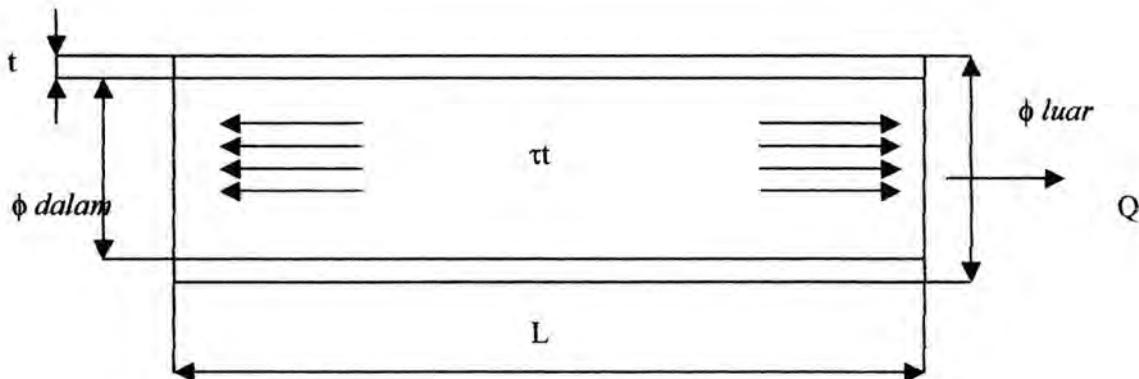
d_i = ϕ dalam inder (cm)

t = tebal tube (cm)

2. Tegangan Longitudinal (τ_l)

Untuk menghitung besarnya tegangan tarik ke arah aksial dapat kita bayangkan tube tersebut dipotong oleh sebuah bidang yang tegak lurus terhadap sumbu x. Gaya tarik yang dihasilkan oleh pemanjangan longitudinal tube tersebut adalah sama dengan resultan tekanan pada ujung-ujung tube yaitu :

$$\tau_t = P_i \left[\frac{P d_i^2}{4} \right]$$



Gambar 3.3. Kerja tegangan Longitudinal

Luas penampang dinding tube (A_t) adalah :

$$A_t = \eta \cdot d_j \cdot t \cdot L$$

Sehingga besarnya tegangan longitudinal (τ_l) adalah :

$$\begin{aligned} \tau_l &= \frac{F}{A_t} = \frac{P_i \cdot d_i}{4t} \\ \tau_l &= \frac{1,12 \text{ kg/cm}^2 \cdot 18 \text{ cm}}{4 \text{ cm}} \\ &= \frac{20,25 \text{ kg/cm}^2}{4 \text{ cm}} \\ &= 5,1 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan di atas bahwa tegangan tarik ke arah radial dua kali lebih besar dari tegangan tarik ke arah aksial baik tegangan tangensial maupun tegangan longitudinal yang bekerja pada tube yang sangat kecil bilang dibandingkan dengan tegangan tarik ijin dari bahan tube.

3. Gaya tekukan yang diijinkan pada tube

Oleh fluida yang mengalir di dalam maupun di luar tube, laju aliran masa fluida akan memberikan gaya pada tube berupa tekanan aliran fluida dalam shell melintasi sekat-sekat yang terpasang pada bundle tube. Oleh sekat-sekat

tersebut aliran fluida diarahkan sehingga terjadi aliran melintang ini memberikan tekanan pada tube berupa tekanan oleh TEMA diberikan persamaan sebagai berikut :

$$F_t = \frac{\eta^2 \cdot E \cdot I}{\left[\frac{L}{N_b + 1} \right]} (0,5216)$$

Dimana :

F_t = Gaya tekuk (ib)

E = Modulus elastis bahan tube

I = Momen inersia

L = Panjang tube

N_b = Jumlah sekat

3.5. Pelat Tube

Pada penukar kalor, pelat tube berfungsi sebagai pengikat tube (tube-tube). Pelat tersebut dilubangi dengan diameter lebih besar daripada diameter luar tube. Tube dimasukkan ke lubang pada pelat, lalu dilubangi. Teknik-teknik pengikatan yang biasa dilakukan dalam teknologi pembuatan penukar kalor antara lain adalah : rol, las, ferlure dan lain-lain. Pengikatan yang umum digunakan adalah dengan teknik rol.

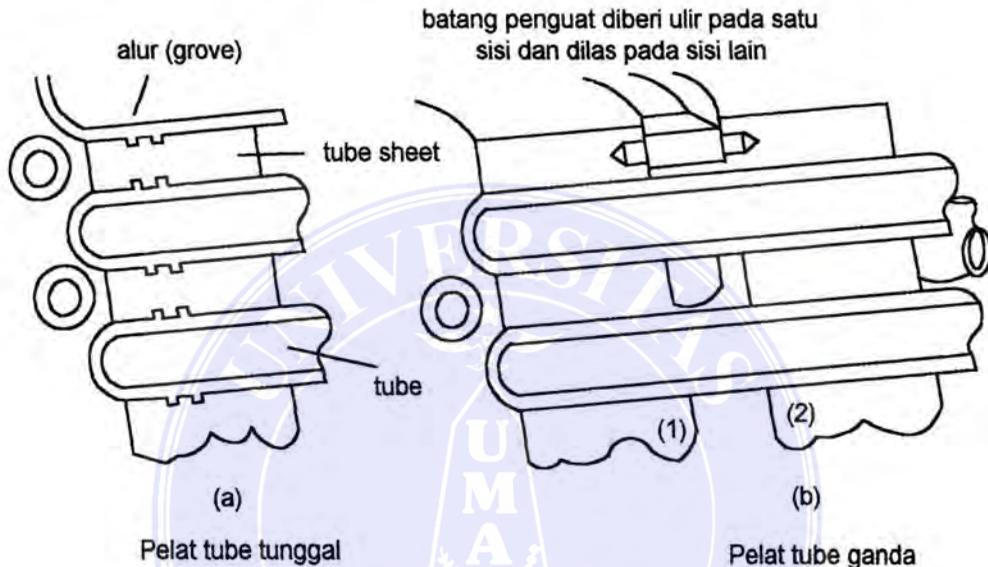
Pelat tube dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu :

1. Pelat tube stasioner (Stasioner tube shell)
2. Pelat tube mengambang (floating - tube shell)

Biasanya pelat tube ini dibuat dari satu pelat saja, tetapi untuk bahan-bahan yang berbahaya dan korosif, sehingga dimungkinkan terjadinya

percampuran fluida proses akibat kebocoran yang terjadi di sisi cangkang atau sebaliknya maka pelat tube dibuat ganda.

Sebagai konsekuensi dari cara penanganan diatas adalah penambahan biaya untuk membuat alur (groove) pada pelat tube serta pengeloran tube. Disamping itu pekerjaan menuntut ketelitian pada saat penyetulan tube.



Gambar 3.4. Jenis-Jenis Pelat Tube

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 108

Untuk menghambat laju korosi pada sisi fluida yang korosif, maka pada sisi masuk fluida ditempatkan suatu material yang berfungsi sebagai anoda dalam proses korosi-korosi yang terjadi akan menyerang material tersebut. Jadi material ini dikorbankan untuk melindungi material utama, dalam hal ini tube tentu saja menggunakan material yang memiliki resistensi tinggi terhadap korosi merupakan hal yang harus menjadi pertimbangan utama.

3.6. Tebal Pelat Tube

Untuk bahan pelat tube material yang digunakan adalah :

NAMA	BAHAN	JUMLAH
Tube sheet	Aluminium Bronze	2

Untuk menghitung tebal pelat tube yang digunakan dihitung dari persamaan yang diberikan ASTM sebagai berikut :

$$T = \frac{F \cdot D_s \sqrt{P_s}}{2 \sqrt{T_i}}$$

Dimana :

F = Konstanta yang diperoleh dari perbandingan tebal cangkang dengan diameternya

D_s = Diameter dalam cangkang (cm)

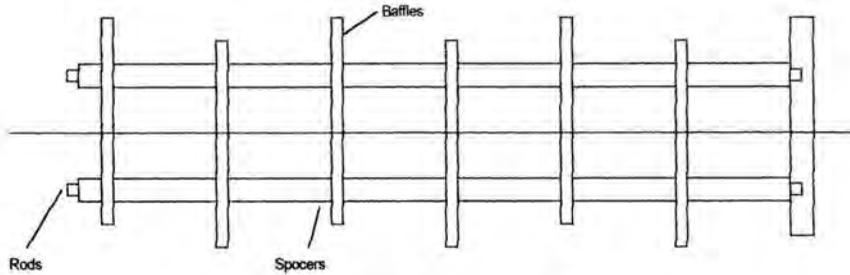
P_s = Tekanan perencanaan Flens (bar)

T = Tegangan tarik izin dari bahan (kg/cm²)

Tekanan perencanaan adalah tekanan yang diberikan oleh flens pada saat penyambungan. Flens yang digunakan adalah tipe slip On (SO) untuk diameter minimal dengan jumlah baut dan beban tekanan yang diizinkan adalah bar.

3.7. Tie Rods dan Spocer

Tie Rods, spocer sekat dan pelat tube merupakan satu kesatuan yang membentuk tube bundle. Letak tie rods dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.5. Tie Rods dan Spacer

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 151

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan penggunaan tie rods adalah :

1. Mempertahankan jarak antar sekat
2. Membuat konstruksi lebih baku
3. Memudahkan penyetulan dan pemasangan tube pada sekat dan pelat tube

Spacer dibuat dari pipa dan bahannya diusahakan sama dengan bahan tube. Tube spacer dipotong dan diletakkan diantara sekat lalu tie rods dimasukkan pada ujung lainnya diikat dengan baut.

TEMA (Turboar Engineering of Manufactured Assosiaty) telah membuat suatu tabel yang dapat digunakan sebagai standar dalam memilih tie rods.

Tabel 3.1. Standart Tie Rods

Type	Diameter Nominal Shell	Diameter Rods (inci)	Jumlah Tie Rods Minimum
B & C	6 - 15	1/4	4
	16 - 17	3/8	6
	28 - 33	1/2	6
	34 - 48	1/2	8
	49 - 60	1/2	10
R	6 - 15	1/4	4
	16 - 17	3/8	6
	28 - 33	1/2	6
	34 - 48	1/2	8
	49 - 60	1/2	10

Catatan : Untuk penukar kalor tipe R, B, & C jumlah tie rods tidak boleh kurang dari 4, untuk diameter shell lebih besar dari 15" diameter tie rods tidak boleh lebih kecil dari 3/8

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 152

Dengan menggunakan tabel di atas, untuk penukar kalor tipe C jumlah tie rods minimum yang digunakan adalah enam dengan diameter $\frac{1}{2}$ " x 25,4 = 12,7 mm.

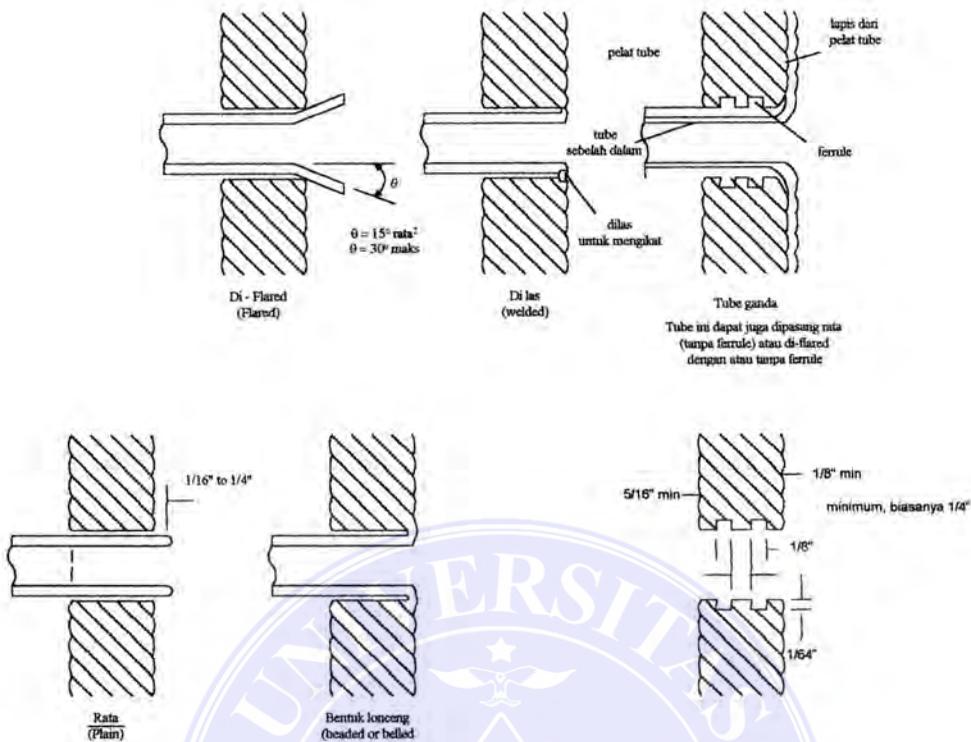
3.8. Pengikatan Tube Dengan Pelat Tube

Ikatan tube dengan tube pada penukar kalor merupakan hal yang sangat penting. Bila proses pengikatan tidak baik akan terjadi kebocoran. Bila terjadi maka fluida dari shell akan masuk ke dalam tube atau sebaliknya. Tergantung dari besar tekanan fluida.

Bentuk ikatan tube berbeda-beda tergantung dari pelayanan tipe alat penukar kalor. Umumnya cara pengikatan tube pada pelat tube dilakukan dengan pengerollan pada suhu kamar. Jenis-jenis pengikatan tube ke pelat tube antara lain :

1. Sambungan di roll rata (plain)
2. Sambungan di roll talik (beaded on bealed)
3. Sambungan di roll akan dikembangkan (florede) pada tube shell (grooved)
4. Sambungan di las (welded)
5. Sambungan menggunakan ferule

Jenis-jenis sambungan di atas diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.6. Detai dari lekukan pelat tube

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 153

3.9. Pemilihan Cangkang (Shell)

Cangkang pada penukar kalor merupakan rumah bagi tube bundle pada cangkang dan tube bundle terdapat fluida yang menerima atau melepas kalor, sesuai dengan proses yang terjadi.

3.9.1. Jenis-Jenis Cangkang

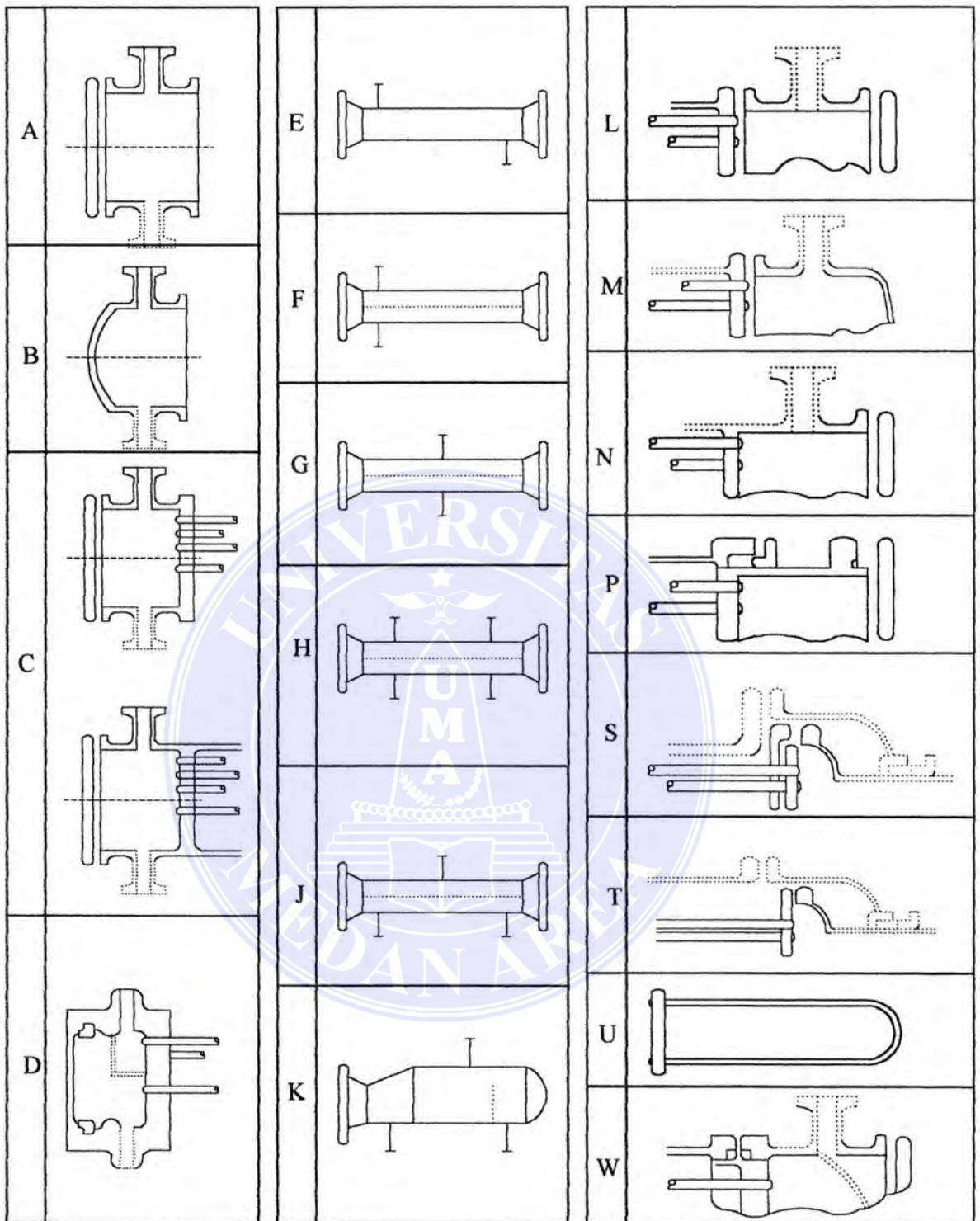
Pada umumnya cangkang penukar kalor adalah beberapa jenis yaitu :

1. Cangkang aliran satu pass tipe E
2. Cangkang aliran dua pass dan sekat longitudinal tipe F

3. Cangkang aliran dipisah (split flow) Tipe G
4. Cangkang aliran ganda (double split flow) tipe H
5. Cangkang aliran yang dibagi (divided flow) tipe Juga
6. Cangkang tipe ceret (kettle tube) tipe K

Untuk perencanaan alat penukar kalor ini penulis memilih cangkang dengan aliran dua pass dan sekat longitudinal tipe F, karena perbedaan cangkang dan tube besar. Di bawah ini tercantum gambar jenis-jenis cangkang tersebut di atas.





Gambar 3.7. Jenis-Jenis Aliran Cangkang

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 18

3.9.2. Tebal Cangkang

Untuk menentukan tebal cangkang dalam perencanaan ini penulis menggunakan tabel yang disusun oleh Donald Q Kern yang sesuai dengan standart ASME (Ameican Sosiaty of Mechanical Angginier). Tabel dibawah ini menunjukkan tebal minimum dari cangkang yang tergantung dari diameter cangkang serta jenis bahan digunakan.

Tabel 3.2. Standar ASME untuk Cangkang

Tipe Penukar Kalor	Diameter Nominal	Tebal Minimum Dinding Cangkang (Inci)	
R	8 – 12	Sch 30	1/8
	13 – 29	Sch 20	3/8
	30 – 39	-	7/16
	40 – 60	-	5/16
C	6 – 12	Sch 40	1/8
	13 – 23	Sch 30	1/8
	24 – 29	Sch 20	3/16
	30 – 39	-	3/8
	40 – 60	-	7/16
B	6 – 12	Sch 40	1/8
	13 – 23	Sch 30	1/8
	24 – 29	Sch 20	3/16
	30 – 39	-	3/8
	40 – 60	-	7/16

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 123

Dengan menggunakan tabel di atas untuk penukar kalor tipe R maka tebal cangkang adalah sama dengan 7/16” maka tebalnya $0,4375 \times 2,54 = 1,2 \text{ cm}$.

3.9.3. Ruang Bebas Pada Cangkang

Tube yang sudah dirakit menjadi tube bundle (tube shell) dimasukkan ke dalam cangkang penukar kalor. Tube ini sudah dilengkapi dengan sekat (baffle). Untuk memudahkan pemasukan bundle tersebut ke dalam cangkang harus ada ruang bebas (Clarence). Ruang bebas ini tidak boleh terlalu lebar (besar) sebab akan mempengaruhi aliran fluida di luar tube. Semakin besar clearance ini akan semakin besar pula kebocoran antar cangkang dengan sekat. Oleh TEMA (Turbular Engginiering of Manufactured Asosiaty) telah dibuat standart untuk masing-masing tipe penukar kalor tertera di bawah ini :

Tabel 3..3. Ruang Bebas Pada Cangkang

Tipe Penukar Kalor	Diameter Nominal	Ruang Bebas (ID Cangkang/OD Sekat) (Inci)
R	8 – 13	0,100
	14 – 17	0,125
	18 – 23	0,150
	24 – 39	0,175
	40 – 60	0,225
		0,300
C	8 – 13	0,100
	14 – 17	0,125
	18 – 23	0,150
	24 – 39	0,175
	40 – 60	0,225
		0,300
B	8 – 13	0,100
	14 – 17	0,125
	18 – 23	0,150
	24 – 39	0,175
	40 – 60	0,225
		0,300

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 124 dan 125

Dengan menggunakan tabel di atas, untuk penukar kalor tipe R dengan diameter cangkang 31,5" maka ruang bebas antara diameter dalam cangkang dengan diameter diluar sekat adalah $0,175 \times 0,254 = 0,44$ cm.

3.9.4. Flens

Pada penukar kalor yang direncanakan ini untuk sisi masuk fluida (stationary head) digunakan tipe A (channel and Removable cover), sedangkan cangkang shell yang digunakan adalah tipe E (one pass shell) dan sisi keluar fluida. (rear end) digunakan tipe S (floating head wide packing device). Pertimbangan yang digunakan untuk memilih tipe adalah pemeliharaan yang lebih muda karena tinggal membuka flens untuk dibersihkan. Tetapi pada dasarnya penukar kalor/pemanas mula ini tidak begitu cepat menjadi korosi karena air yang digunakan adalah air murni (air DEMI/Demineralized Water) artinya air yang tidak mengandung ion positif dan negatif sehingga mencegah material korosif yang disebabkan oleh fluida kerja.

3.9.5. Tegangan Longitudinal Pada Cangkang

Fluida yang mengalir di dalam cangkang mengalami/memiliki tekanan, laju aliran dan temperatur. Fluida bertekanan dalam cangkang ini menimbulkan tegangan radial dan tangensial yang besarnya tergantung pada diameter cangkang yang digunakan. Untuk mencari tersebut radial (T_r) dan tangensial (T_t) dan tersebut memanjang, asumsi-asumsi yang digunakan adalah :

1. Tegangan tangensial terbagi rata sepanjang ketebalan dinding cangkang
2. Permukaan memanjang sepanjang keliling panjang adalah tetap

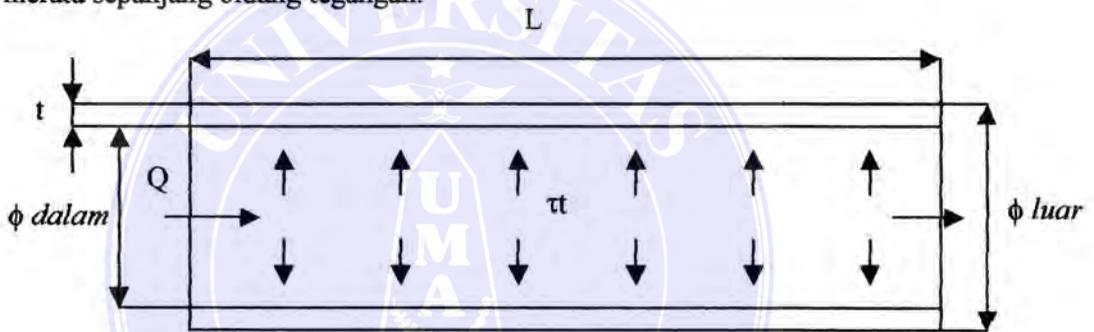
Berdasarkan asumsi-asumsi di atas maka tegangan-tegangan yang bekerja pada cangkang dapat dianalisa sebagai berikut :

1. Tegangan Tangensial (Tt)

Besar fluida mengalir dalam cangkang memiliki tekanan P_i , maka tekanan P_i akan mendesak dinding cangkang yang memiliki tebal t dan diameter dalam d_i dengan asumsi bahwa tekanan terbagi rata sepanjang ketebalan dinding cangkang (L) dan pemuaian memanjang sepanjang keliling cangkang adalah tetap, gaya tersebut dapat dinyatakan oleh :

$$F = P_i \times d_i \times L$$

Gaya yang timbul cenderung memisahkan kedua setengah lingkaran cangkang. Gaya ini ditahan oleh tegangan tangensial (T_t) yang bekerja secara merata sepanjang bidang tegangan.



Gambar 3.8. Kerja Tegangan Tangensial

Sehingga dapat dinyatakan :

$$P_i \cdot d_i \cdot L = \tau \cdot 2t \cdot L$$

Selanjutnya tegangan tangensial pada cangkang adalah :

$$\tau = \frac{P_i \cdot d_i}{2 \cdot t}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, maka tegangan tangensial yang bekerja pada cangkang adalah :

$$\tau = \frac{P_i \cdot d_i}{2 \cdot t}$$

$$= \frac{21 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0,33 \text{ cm}}{2 \cdot 1,6 \text{ cm}}$$

$$= \frac{6,93}{3,2} = 2,17 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana :

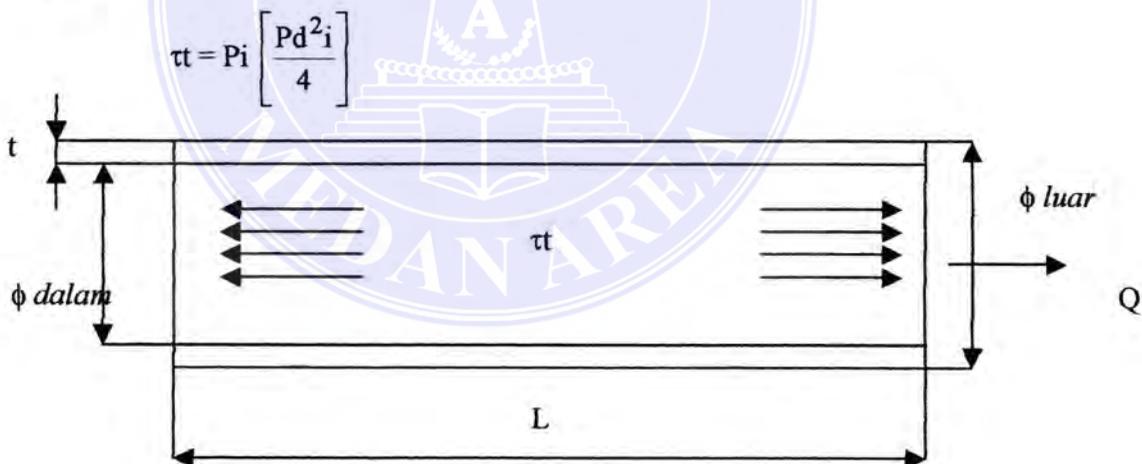
P_i = Tegangan dalam kg/cm^2

d_i = diameter dalam (cm)

t = tebal plat (cm)

2. Tegangan Longitudinal (τ_l)

Untuk menghitung besarnya tegangan tarik ke arah bawah (akrial) dapat kita bayangkan tube tersebut dipotong oleh sebuah bidang yang tegak lurus terhadap sumbu x. Gaya tarik yang dihasilkan oleh pemanjangan longitudinal tube tersebut adalah sama dengan resultan tekanan pada ujung-ujung cangkang yaitu :



Gambar 3.9. Kerja tegangan Longitudinal

Luas penampang dinding cangkang (A_t) adalah :

$$A_t = \eta \cdot d_i \cdot t$$

Sehingga besarnya tegangan longitudinal (τ_l) cangkang adalah :

$$\tau_l = \frac{F}{A_t} = \frac{P_i \cdot d_i}{4t}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas maka tegangan longitudinal yang bekerja pada cangkang adalah :

$$\begin{aligned}\tau_l &= \frac{21 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0,33 \text{ cm}}{4 \cdot 1,6 \text{ cm}} \\ &= \frac{6,93}{6,4} = 1,08 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Dapat dilihat dari persamaan di atas tegangan tarik ke arah radial dua kali lebih besar daripada tegangan tarik ke arah aksial.

3.9.6. Aliran Fluida Dalam Cangkang

Pada penukar kalor ada dua jenis fluida, yaitu :

1. Aliran fluida yang mengalir melalui tube (tube side) dalam hal ini fluida tersebut berada di dalam tube
2. Aliran fluida di dalam cangkang (shell side). Dimana fluida tersebut mengalir di luar tube.

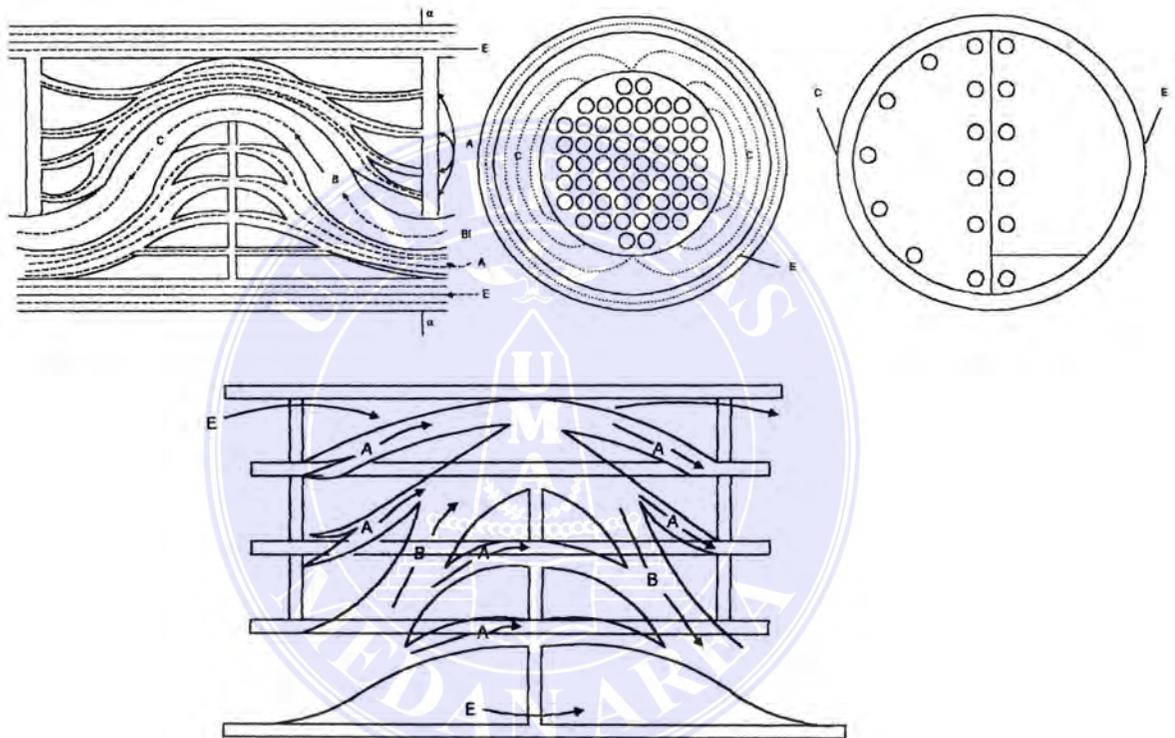
Aliran fluida di dalam tube akan mengalami tiga kondisi sebagai berikut :

1. Kontraksi atau penyempitan aliran, yaitu pada saat fluida tersebut keluar dari tube
2. Ekspansi atau penyebaran, yang dialami saat fluida tersebut keluar dari tube
3. Pembelokan arah aliran, dimana terjadi perubahan pass aliran.

Sedangkan aliran fluida yang mengalir keluar tube, mengalami perubahan arah yaitu :

1. Aliran yang aksial sejajar dengan tube bundle
2. Aliran melintang (cross/flow) yang menyeberangi tube bundle antara sekat yang dipasang.

Oleh Tinker telah dilakukan pengelompokkan jenis aliran yang mengalir disebelah cangkang menjadi empat aliran yaitu : A, B, C dan E seperti terlihat di bawah ini.



Gambar 3.10. Aliran fluida dalam shell menurut tinker

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 129

Aliran A (Leakage through the tube-baffle-clearance) adalah aliran yang bocor akibat celah yang terdapat antara lubang sekat dengan tube (antara diameter lubang tube dengan diameter lubang tube pada sekat).

Aliran B merupakan aliran melintang yang sebenarnya (aktual cross flow steam though the tube bundle).

Aliran C merupakan aliran by pass yang terjadi antara cangkang dengan tube bundle (*out side of the tube bundle*).

Aliran E merupakan aliran yang terjadi karena adanya ruang bebas antara cangkang dan sekat. (*leahage through the baffle cangkang clearance*).

Aliran F adalah aliran yang terjadi karena adanya celah pada pelat pemisah antara pass aliran (*pass partission plates*). Bocoran aliran F terjadi apabila penukar kalor tersebut mempunyai aliran multi pass. Di samping itu aliran F dapat juga terjadi bila terdapat kebocoran pada chennel. Bocoran chennel dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Posisi paching pada saat penyetulan kurang tetap
2. Permukaan tube bundle tidak rata akibat tegangan yang terjadi saat pengerolan tube ke tube bundle.
3. Permukaan chennel tersebut kurang rata.

Kebocoran aliran F adalah pada arah tegk terhadap posisi tube bundle dan hal ini tentu mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan fluida yang mengalir pada inti cangkang. Dengan demikian suatu penukar kalor yang memiliki aliran by pass akan mengalami penurunan kecepatan aliran fluida yang lebih besar dibandingkan dengan penukar kalor yang tidak memiliki aliran by pass tube. Akibat penurunan kecepatan ini maka koefisien perpindahan rata-rata penukar kalor tersebut menjadi rendah. Hal ini tentu saja mengurangi efektivitas penukar kalor.

Aliran C merupakan aliran by pass utama. Untuk mengurangi besarnya aliran C, maka dipasang sealing strip, serta horizontal strip. Yang memblok aliran pada ulah antara cangkang dengan tube bundle.

Aliran A bukan merupakan aliran by pass, sebab aliran tetap melalui. Akan tetapi aliran ini besar pengaruhnya terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*).

3.10. Sekat (*Baffle*)

Penukar kalor jenis shell dan tube selalu mempunyai sekat (*baffle*) sekat yang terpasang pada cangkang (*shell*) penukar kalor mempunyai beberapa fungsi yaitu :

1. Sebagai struktur untuk menekan tube bundle
2. Sebagai damper untuk menahan atau mencegah terjadinya getaran (*vibrasi*) pada tube.
3. Sebagai alat untuk mengarahkan fluida yang mengalir di luar tube (*cangkang side*)

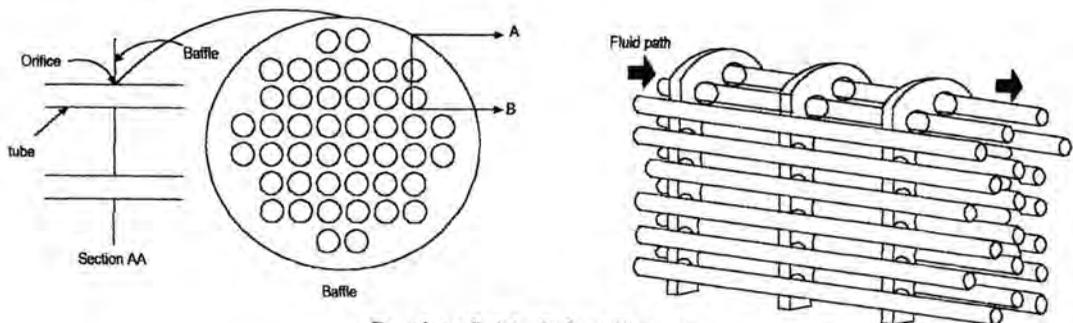
Fungsi-fungsi tersebut selalu pada setiap pemasangan sekat (*baffle*).

3.10.1. Bentuk-Bentuk Sekat

Ditinjau dari segi konstruksi, sekat dapat diklasifikasikan ke dalam empat kelompok yaitu :

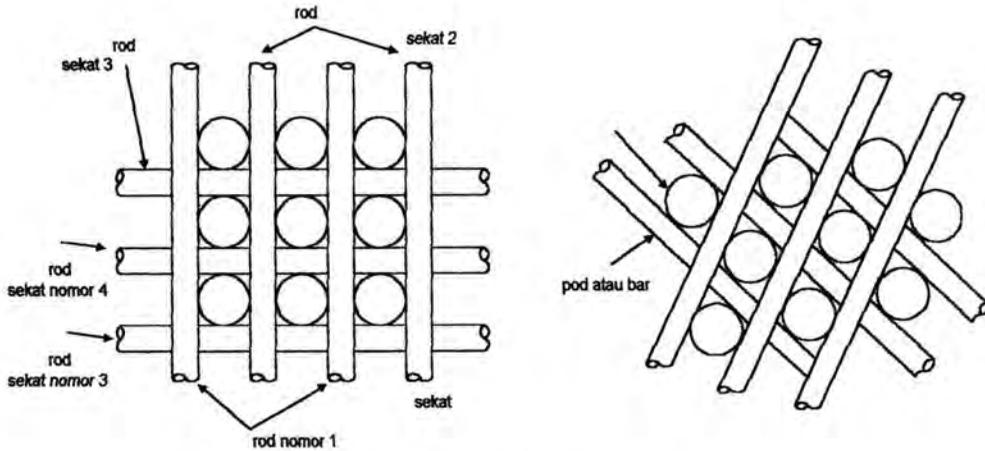
1. Sekat pelat berbentuk segment (*segment baffle plate*)
2. Sekat batang (*rod baffles*)
3. Sekat mendatar (*longitudinal baffles*)
4. Sekat impingiment (*impingiment baffles*)

Di bawah ini tercantum gambar dari konstruksi masing-masing sekat tersebut di atas :



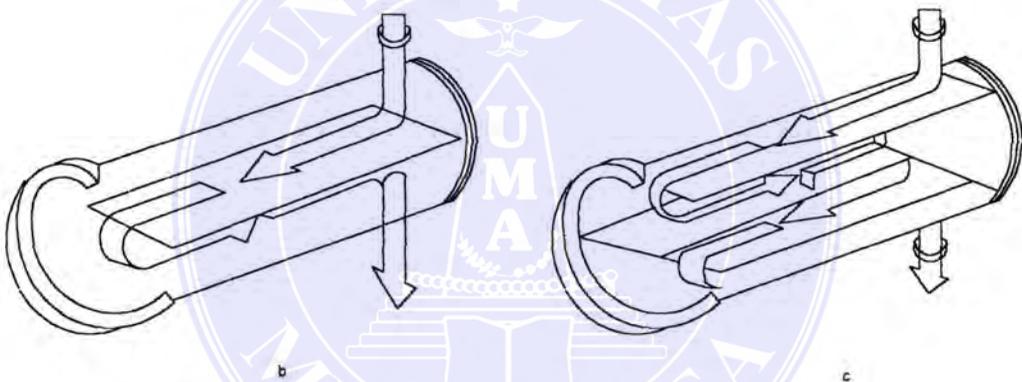
Gambar 3.11. Sekat Segment

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 86

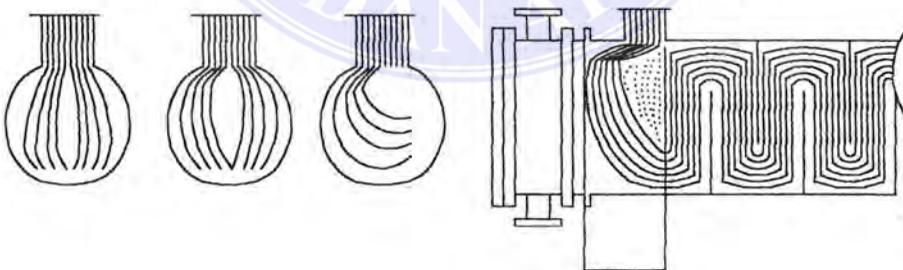


Gambar 3.12. Sekat Batang

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 92



Gambar 3.13. Sekat Longitudinal (*Longitudinal Baffle*)



Gambar 3.14. Sekat Impingement

Dikutip dari Tunggul M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 93, 94

Pada alat penukar kalor yang direncanakan ini, sekat pelat yang digunakan adalah sekat pelat yang berbentuk segment, sekat pelat yang berbentuk segment yang umum digunakan dan dipasang pada posisi tegak lurus terhadap tube. Disamping membelokkan arah aliran, sekat ini juga berfungsi sebagai penyangga tube sehingga getaran yang terjadi pada tube akibat aliran fluida di luar dan di dalam tube tidak mengakibatkan kerusakan pada tube.

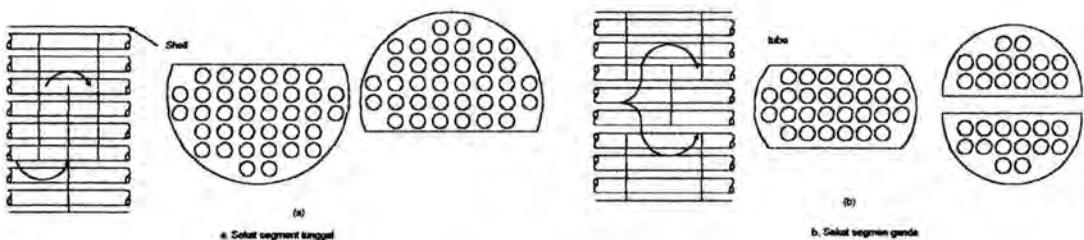
3.10.2. Konstruksi Sekat Bentuk Segment

Konstruksi sekat ini terdiri dari bahan pelat yang dilubangi sebagai tempat kedudukan tube dan setiap penukar kalor menggunakan lebih dari satu sekat. Beberapa jenis pelat sekat yang sering digunakan antara lain, yaitu :

1. Sekat segment tunggal
2. Sekat segment ganda
3. Sekat segment
4. Sekat segment dimana tidak terdapat tube pada jendela sekat
5. Sekat cakra dan donat
6. Sekat arifis

Untuk perencanaan pendingin ini sekat pelat yang digunakan adalah dari jenis sekat segment tunggal. Di bawah ini tercantum.

Untuk menentukan *percentration of baffle cut* tersebut dapat digunakan chart yang menyertakan hubungan antara *percentration of baffle cut* vs rasio diameter dengan jarak sekat seperti tercantum di bawah ini :



Jenis potongan sekat yang umum digunakan adalah :

1. Baffle cut mendatar
2. Baffle cut vertikal
3. Baffle cut miring

Di bawah ini tercantum gambar jenis-jenis potongan sekat (*baffle cut*) tersebut.



Gambar 3.16. Jenis Potongan Sekat

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal.87

Dalam perencanaan pendingin ini, penulis menggunakan baffle cut mendatar. Keputusan ini diambil mengingat fluida yang mengalir pada cangkang adalah air demi yang memiliki sistem tertutup sehingga praktis dianggap bebas dari kotoran. Selain itu dibagian bawah baffle juga dipotong $\pm 1''$ potongan ini merupakan tindakan antisipasi terhadap kemungkinan adanya kotoran yang terikut pada fluida sehingga kotoran tersebut tidak menumpuk pada bagian bawah cangkang.

3.4.1. Tebal Sekat

Beberapa faktor yang mempengaruhi ukuran pelat tersebut antara lain :

- 1) Diameter nominal cangkang
- 2) Jarak antara sekat

Tabel di bawah ini merupakan hubungan antara diameter nominal cangkang. Jarak antara sekat dengan sekat dan hubungannya dengan tabel pelat sekat.

Tabel 3.4. Tabel Pelat Sekat

Tipe	Diameter Nominal Shell	Tebal Pelat Sekat						
		Jarak Antara Sekat dengan Diameter Penuh						
		12	24	12-24	24-36	36-48	48-60	60
R	8 – 14		3/16		3/16	1/4	3/8	3/8
	15 – 28		3/16		1/4	3/8	3/8	1/2
	29 – 38		1/4		5/16	3/8	1/2	5/8
	39 – 60		1/4		3/8	1/2	5/8	5/8
C	8 – 14	1/16		1/8	3/8	1/4	3/8	3/8
	15 – 28	1/8		3/16	3/16	3/8	3/8	1/2
	29 – 38	3/16		1/4	1/4	3/8	1/2	5/8
	39 – 60	-		1/4	1/4	1/2	5/8	5/8
B	8 – 14	1/16		1/8	3/8	1/4	3/8	3/8
	15 – 28	1/8		3/16	3/16	3/8	3/8	1/2
	29 – 38	3/16		1/4	1/4	3/8	1/2	5/8
	39 – 60	-		1/4	1/4	1/2	5/8	5/8

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 123

Dengan menggunakan tabel di atas, untuk penukar kalor tipe R dengan diameter nominal cangkang 31,5" dan jarak antara sekat B = DS 31,5" : maka tebal pelat sekat adalah $5/16 \times 25,4 = 8 \text{ mm}$.

3.10.4. Penentuan Jarak Antara Sekat

Penentuan jarak antar sekat dengan sekat sangat penting sekali sebab hal ini secara langsung mempengaruhi panjang lintasan fluida yang mengalir di luar tube. Bila N_b adalah jumlah sekat, maka lintasan melintang pada tube = $N_b + 1$.

Pada konstruksinya diusahakan agar jarak antar sekat dengan sekat tersebut sama, dalam hal yang tidak memungkinkan maka di bagian-bagian ujungnya dibuat jarak yang lebih kecil tetapi harus tetap memperhatikan letak nozzle pada shell.

Dalam hal ini menentukan jarak antar shell (*baffle pitch*) terdapat dua alternatif yaitu :

1. Jarak antar sekat (B) maksimum (*maximum spacing*) adalah $B = D_{i_s}$
2. Jarak antar sekat (B) minimum (*minimum spacing*) adalah $B = D_{i_s} \cdot 1/5$ (atau lebih besar)

Dimana : D_{i_s} adalah diameter dalam cangkang (*shell*)

Apabila jarak antara sekat dibuat terlalu besar, maka aliran fluida akan akrial sehingga terdapat aliran melintang sebaliknya. Bila jarak sekat dibuat terlalu sempit, maka menimbulkan kebocoran yang berlebihan antara sekat dengan cangkang (*shell*) oleh TEMA telah disusun suatu tabel yang menunjukkan hubungan antara luar tube yang dipakai, bahan tube dengan jarak maksimum sekat seperti tercantum di bawah ini :

Tabel 3.5. Jarak Maksimum Sekat

Tipe	Diameter di Luar Tube	Jarak Maksimum Sekat (inchi) Bahan Tube dan Batas Temperatur (°F)	
		Baja Karbon dan Paduan Baja (750) Baja Paduan Rendah (850) Nickel Cooper (600) Nickel (850) Nickel Chromium (1000)	Aluminium dan Paduan Tembaga Titanium Zirconium
R	3/4	60	52
	1	74	64
	1 1/4	88	76
	1 1/2	100	87
	2	125	110
C	1/4	26	22
	3/8	35	30
	1/2	44	38
	5/8	52	45
	3/4	60	52
	1	72	64
	1 1/4	88	76
	1 1/2	100	87
B	5/8	52	45
	3/4	60	52
	1	74	64
	1 1/4	88	76
	1 1/2	100	87
	2	125	110

Catatan : Untuk aluminium dan paduannya, tembaga, titanium serta zirconium batas tempertur adalah pada suhu maksimum. Khusus untuk penukar kalor tipe C untuk sekat tidak digunakan Titanium dan Zirconium.

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 103

Dengan menggunakan tabel di atas, untuk penukar kalor tipe R dan diameter ukuran tube $\frac{3}{4}$ ", maka jarak maksimum sekat adalah $52'' \times 25,4 = 1,32 \text{ m}$.

3.10.5. Ruang Bebas dan Toleransi Sekat

Kedudukan sekat (*baffle*) pada penukar kalor adalah bagian dalam cangkang agar sekat dapat dimasukkan ke dalam cangkang maka cangkang harus ada kelonggaran (*clearance*) antara diameter sekat. Ruang bebas akan mempengaruhi aliran fluida di luar sekat tube semakin besar ruang bebas ini akan semakin besar pula kebocoran antara cangkang dengan sekat. Untuk menentukan besarnya ruang bebas antara sekat dengan cangkang dapat digunakan standard yang disusun oleh TEMA seperti tercantum di bawah ini.

Tabel 3.6. Diameter dalam Shell dan Ruang Bebas

Tipe	Diameter Dalam Shell	Ruang Bebas (Inchi)
R	8 – 14	0,100
	14 – 17	0,125
	18 – 23	0,150
	24 – 39	0,175
	40 – 54	0,225
	55 – 60	0,300
C	6 – 14	0,100
	14 – 17	0,125
	18 – 23	0,150
	24 – 39	0,175
	40 – 54	0,225
	55 – 60	0,300
B	6 – 14	0,100
	14 – 17	0,125
	18 – 23	0,150
	24 – 39	0,175
	40 – 54	0,225
	55 – 60	0,300

Dengan menggunakan tube di atas, untuk penukar kalor tipe R dengan diameter dalam cangkang 12,99, maka ruang bebas antara diameter sekat adalah $0,125'' \times 25,4 = 3,175 \text{ mm}$. Sehingga diameter sekat adalah $= 12,99'' - 0,125'' = 12,865''$.

3.11. Susunan Tube

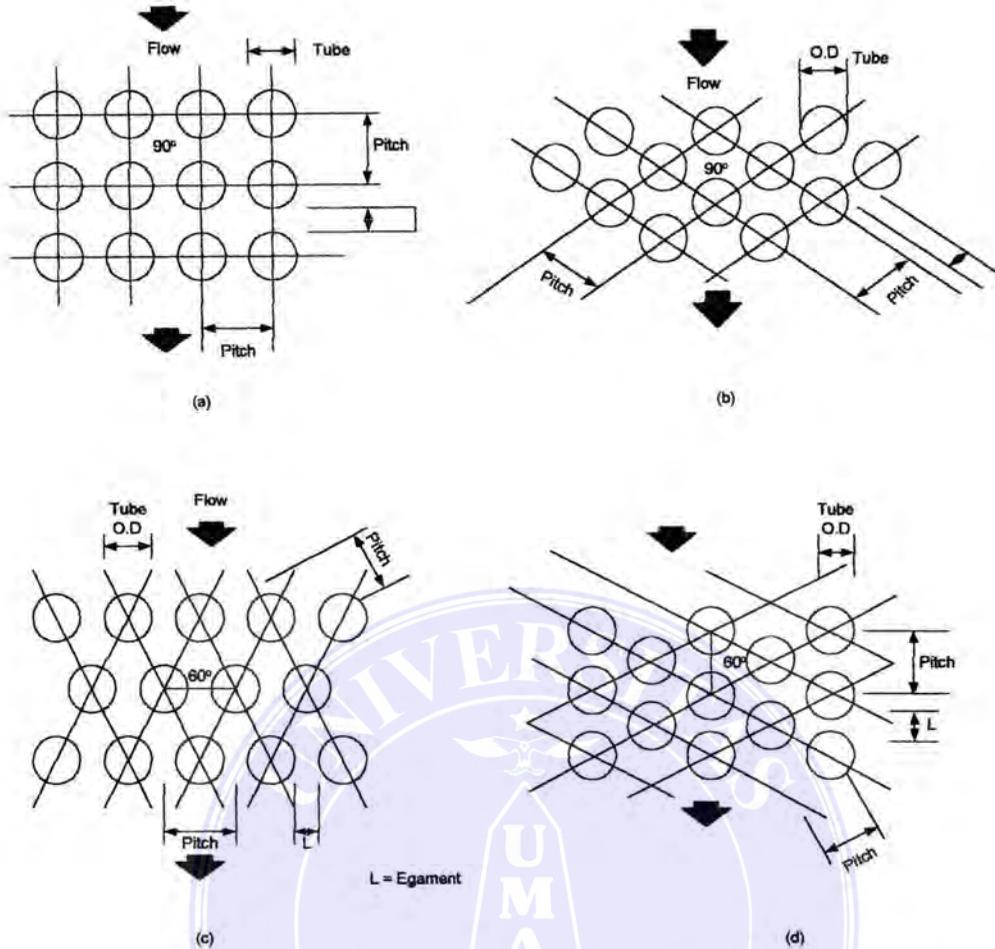
Kemampuan melepas atau menerima panas dari suatu penukar kalor dipengaruhi oleh besarnya luas penampang (*heating surface*) besar luas permukaan panas tergantung pada panjang diameter dan jumlah tube yang dipergunakan pada penukar kalor tersebut.

Susunan tube mempengaruhi besarnya penurunan tekanan aliran fluida dalam shell.

3.11.1. Tipe-Tipe Susunan Tube

Penentuan susunan tube-tube pada alat penukar kalor sangat prinsip sekali, ditinjau dari segi operasi dan pemeliharaan, beberapa susunan tube-tube penukar kalor yang dikenal antara lain :

1. Tube dengan susunan-susunan segitiga (*triangular*)
2. Tube dengan susunan segitiga diputar 30° (*rataled triangular* atau *inline triangular pitch*)
3. Tube dengan susunan bujursangkar (*inline yang square pitch*)
4. Tube dengan susunan berbentuk belah ketupat, atau bujur sangkar yang diputar 45° (*diamond square pitch*)



Gambar 3.17. Susunan tube alat penukar kalor : a) Susunan tube bujur sangkar, b) Susunan tube bujur sangkar diputar 45° (diamond) c) Susunan tube segitiga (triangular), d) Susunan tube segitiga diputar (inline triangular).

Dikutip dari Tunggal M. Sitompul, SE, MSc. "Alat Penukar Kalor, 1993, hal. 44

Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan pada pemilihan susunan tube penukar kalor adalah :

1. Besarnya penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi
2. Jenis aliran fluida diluar tube laminar atau trumbolent
3. Kondisi fluida yang mengalir di luar tube, fouling atau non fouling di luar fluida
4. Teknik-teknik pembersihan bagian luar tube secara mekanik (*mechanical cleaning*) atau kimia (*chemical cleaning*).

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penukar kalor tipe U, posisi horizontal dengan 1 x 2 pass terdiri dari shell dan tube
2. Fluida yang mengalir dalam pipa (tube) adalah air economiser yang tertekanan tinggi (high pressure economiser water) sebagai pemanas.
3. Fluida yang mengalir dalam cangkang (shell) adalah air condensate (condensate water) sebagai air yang dipanaskan dan sebagai air umpan atau air pengisi ketel
4. Jenis aliran : aliran lawan (counter flow)
5. Temperatur air yang dipanaskan adalah 43°C dan temperatur air pemanas adalah 290°C
6. Tekanan rencana cangkang (shell) adalah 12 bar dan tekanan rencana pipa (tube) adalah 90 bar
7. Bahan pipa (tube) adalah carbon steel
8. Bahan cangkang (shell) adalah carbon steel
9. Jumlah pipa adalah 80 buah
10. Diameter tube (luar) = 18 mm
11. Diameter tube (dalam) = 16,5 mm
12. Tebal tube = 1,5 mm
13. Luas bidang perpindahan panas pada tube = 28 m²
14. Luas aliran fluida sisi tube (m¹) = 0,188m²

15. Tegangan tangensial tube (T_t) = 6,2 kg/cm²
16. Tegangan longitudinal tube (T_l) = 5,1 kg/ cm²
17. Diameter sheel = 0,320 m
18. jumlah sekat = 8 sekat



LITERATUR

1. Arkoprijono, MSc. Edisi 3. 1994. "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas", Erlangga Press
2. Sitompul Tunggul M. Ir. MSc. "Alat Penukar Kalor". Rajawali Press.
3. Holman , J.P. "**Perpindahan Kalor 1981**". Erlangga Press.
4. Reynold C. William dan Perlins C. Henry, 1994. Erlangga Pree (**Thermodinamika**).
5. Kern. D. Q. **Process Heat Transfer 1965 (International Student Edition)**, Mc. Graw Hill.
6. Siemens Training PLTGU, **External Condensate Preheater 1995**.
7. Austin H. Chureh/Zulkifli Harahap, **Pompa dan Blower Sentrifugal**, Erlangga, 1993.
8. Henry . S. Pakins, **Engineering Thermodynamics**, 2nd Edition, Mc. Graw Hill, 1997.