

# ANALISA PEMANAS TEKanan TINGGI PADA SISTEM AIR PENGISI KETEL UAP DENGAN MEMANFAATKAN UAP BEKAS PEMUTAR TURBIN

## TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana*

Oleh :

JOEDHA WASTU KRISTIANTO  
NIM : 02.813.0045



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN  
2007**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 28/8/23

Access From (repository.uma.ac.id)28/8/23

## ABSTRACT

High pressure steam is the heat circulating medium to rise the water temperature of the boiler system by using the turbine's steam circulation.

The purpose of rising the water temperature are :

- To avoid the thermal stress
- To minimize the boiler's operation
- To increase the boiler's advantage

The problem that usually happend to the high pressure steam is the ability to transfer the heat from the stean to the boiler that caused of many factors such as the crust that sticking inside or outside the tube, and also the leaking that caused of rusty or equipnment's live time.

The other problem that the writer considered is necessary to analize and study about high pressure steam is the contruction's design such as tube, screen and soon, the variables of process that performed such as pressure, temperature, speed draining, conductivity, thermal and so on, the materials, and the calculation that related to the high pressure steam.

In analizing the high pressure steam, we need to observe directly to discover the equipment's design, the working method, and analize the problem that usually happend and find the reason.

The result of this analysis is to avoid or minimize the problem and the way to solve it.

The main advantage of this analysis later is expect to increase the electric generator, althought the price of the energy that we need extremely become too expensive.

## DAFTAR ISI



<b>RINGKASAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Manfaat .....	1
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Alat Penukar Kalor .....	4
2.1.1. Alat Penukar Kalor Langsung .....	4
2.1.2. Alat Penukar Kalor tidak langsung .....	5
2.1.3. APK yang mengakibatkan perubahan fasa .....	6
2.1.4. APK Tanpa perubahan fasa .....	6
2.2. Klasifikasi Alat Penukar Kalor .....	7
2.2.1. Klasifikasi menurut aliran .....	7
2.2.2. Klasifikasi menurut jumlah laluan .....	8
2.2.3. Konstruksi Alat Penukar Kalor .....	9
2.2.4. Jenis-Jenis Alat Penukar Kalor .....	14
2.3. Susunan Tube .....	21
2.3.1. Tube Susunan Segitiga (Trigular Pitch) .....	22
2.3.2. Tube Susunan Segitiga di putar 30 <sup>0</sup> (related triangular) .....	22
2.3.3. Tube Susunan Bujur sangkar (in-line square pitch) .....	23
2.3.4. Tube belah ketupat (diambil square pitch) .....	23
2.3.5. Hubungan Susunan Tube dan Diameter Luas Tube .....	24
2.4. Baffle atau sekat .....	25
2.4.1. Sekat Bentuk Batang .....	26
2.4.2. Sekat Bentuk Segment .....	29
2.4.3. Jendela Sekat (Baffle cot) .....	30
2.4.4. Tebal Sekat .....	32
2.4.5. Jarak Sekat .....	33
2.4.6. Ruang bebas dan Toleransi sekat .....	35
2.5. Beda Temperatur rata-rata logaritma ( $\Delta T_{ri}$ ) .....	36
2.6. Koefisien Perpindahan Panas Bagian dalam Tabung ( $h_i$ ) .....	37
2.7. Koefisien Perpindahan Panas Bagian luar tabung ( $h_o$ ) .....	38
2.8. Koefisien Perpindahan Panas menyeluruh ( $V_0$ ) .....	39
2.9. Efektivitas HPH .....	40

<b>BAB III KERANGKA KONSEPTUAL</b> .....	42
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	45
4.1. Geometri Alat Pemanas Tekanan Tinggi .....	46
4.2. Tabel Schedule Riset .....	47
<b>BAB V ANALISA TERMODINAMIKA PERPINDAHAN PANAS DAN DIMENSI HPH</b> .....	48
5.1. Analisa Termodinamika .....	48
5.2. Analisa Kesetimbangan Energi .....	59
5.2.1. Analisa Kesetimbangan pada HPH .....	59
5.2.2. Analisa Kesetimbangan Energi pada EWT .....	59
5.2.3. Analisa Kesetimbangan Energi pada LPH III .....	60
5.2.4. Analisa Kesetimbangan Energi pada LPH II .....	61
5.2.5. Analisa Kesetimbangan Energi pada LPH I .....	61
5.2.6. Masa Uap yang keluar dari turbin menuju kondensor .....	62
5.2.7. Kalor yang dihasilkan dan yang dilepas Ketel Uap pada tiap-tiap Alat Pemanas .....	64
5.3. Kapasitas HPH .....	66
5.4. Beda Temperatur rata-rata Logaritma .....	67
5.5. Pemilihan diameter dan bahan tabung .....	69
5.6. Perhitungan koefisien perpindahan panas .....	70
5.6.1. Koefisien Perpindahan Panas Dalam Tabung .....	70
5.6.2. Koefisien Perpindahan Panas luar Tabung .....	72
5.7. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh .....	73
5.8. Perhitungan NTU, Efektifitas dan Penurunan Tekanan .....	74
<b>BAB VI ANALISA DIMENSI DAN GAYA PADA HPH</b> .....	75
6.1. Analisa Pada Tabung.....	75
6.1.1. Tegangan yang diizinkan .....	76
6.1.2. Tegangan yang timbul akibat tekanan .....	78
6.1.3. Tegangan arah longitudinal .....	78
6.1.4. Pemeriksaan Kekuatan Bahan Tabung terhadap Therma Stress .....	79
6.1.5. Getaran pada tabung .....	80
6.2. Analisa Pada Pelat Tabung .....	81
6.3. Tebal Pelat Tabung .....	82
6.4. Analisa Pada Sekat (Baffle) .....	84
6.4.1. Jarak Sekat .....	85
6.4.2. Diameter dan Toleransi Sekat .....	86
6.4.3. Tebal Sekat .....	87
6.5. Analisa pada Selongsong .....	88
6.5.1. Tegangan yang timbul .....	89
6.6. Analisa pada Baut Pengikat .....	92
6.7. Analisa pada Nozel .....	95
<b>BAB VII CARA KERJA DAN PEMELIHARAAN</b> .....	98
7.1. Cara Kerja HPH .....	98
7.2. Pemeliharaan HPH .....	101

7.2.1. Jenis-Jenis Kerusakan dan Penyebabnya .....	101
7.2.2. Cara-cara Perbaikan .....	103
<b>BAB VIII KESIMPULAN .....</b>	<b>110</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>112</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>113</b>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1. 1. Latar Belakang

Dewasa ini energi semakin mahal untuk di dapat, hal itu terjadi karena ketersediaan sumber-sumber energi yang ada yang ada di alam khususnya minyak bumi dan gas semakin menipis cadangannya. Untuk itu di perlukan suatu kebijakan dalam menyikapi penggunaannya.

Di dalam suatu industri yang bergerak di bidang apa saja sudah pasti akan memerlukan energi listrik. Energi listrik tersebut ada yang diperoleh dari pembangkit sendiri dan ada juga yang diperoleh dari PLN. Pada umumnya pembangkit tersebut akan menghasilkan energi sisa dan khususnya suatu pembangkit tenaga uap akan menghasilkan uap bekas. Penggunaan energi sisa/uap bekas tersebut dapat dengan mempergunakan suatu alat penukar kalor seperti superheater, condensor, economizer, feed water heater dan sebagainya. Dengan penggunaan alat penukar kalor ini akan dapat meningkatkan efisiensi dari suatu pembangkit energi listrik tersebut. Hal inilah yang menjadi latar belakang bagi penulis untuk menganalisa suatu alat penukar kalor (HPH).

### 1. 2. Manfaat

Adapun hasil dari penelitian ini banyak bermanfaat bagi banyak pihak, antara lain :

### 1. Perusahaan

Sebagaimana bahan masukan dan pertimbangan bagi perusahaan untuk lebih meningkatkan efisiensi bagi unit pembangkitnya sehingga bisa mengurangi biaya produksinya.

### 2. Mahasiswa / Kampus

Sebagai referensi bagi mahasiswa lainnya untuk penelitian yang akan datang khususnya program studi teknik mesin

### 3. Masyarakat / Umum

Sebagai bahan informasi bagi masyarakat / umum yang memerlukannya dalam rangka peningkatan dan pengembangan ilmu teknologi yang bermanfaat bagi masyarakat umum.

### 1.3. Batasan Permasalahan

Alat penukar kalor (head exchanger) mempunyai banyak jenis seperti halnya super heater, condensor, feed water heater, economizer dan sebagainya. Pada dasarnya dalam perencanaan alat penukar kalor mempunyai cara yang sama, hanya saja perbedaannya dalam pemanfaatan uap bekas atau gas buang dari pembakaran bahan bakar.

Pada perencanaan ini penulis membatasi permasalahan hanya pada Feed water heater atau yang sering disebut dengan pemanas tekanan tinggi atau high pressure heater (HPH). Pada HPH ini uap yang dipergunakan untuk pemanasan air hasil kondensasi diambil dari uap ekstraksi turbin uap yang masih mempunyai temperatur dan tekanan yang cukup tinggi.

#### 1.4. Tujuan Perencanaan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk :

1. Menentukan tipe dan jenis alat penukar kalor yang sesuai untuk pemanas tekanan tinggi atau high pressure heater
2. Menghitung kapasitas dan kalor yang diserap oleh HPH.
3. Menganalisa termodinamika dan ukuran dari HPH.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2. 1. Alat Penukar Kalor

Alat penukar Kalor adalah suatu alat dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang lain yang mempunyai temperatur yang lebih rendah.

Sebagaimana kita ketahui bahwa perpindahan panas/kalor dapat berlangsung lewat tiga cara, tergantung pada mekanisme perpindahan panas itu sendiri. Adapun proses perpindahan panas tersebut adalah dengan cara :

1. Hantaran, yang disebut perpindahan panas konduksi
2. Aliran, yang disebut dengan perpindahan panas konveksi
3. Sinaran, yang disebut dengan perpindahan panas radiasi

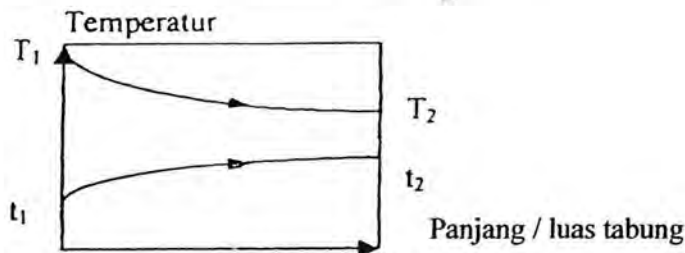
Perpindahan panas yang banyak dibicarakan pada alat penukar kalor atau high pressure heater adalah menyangkut pada kasus poin 1 dan 2 diatas.

Proses perpindahan panas pada APK dapat dilakukan dengan cara pencampuran langsung atau pencampuran tidak langsung.

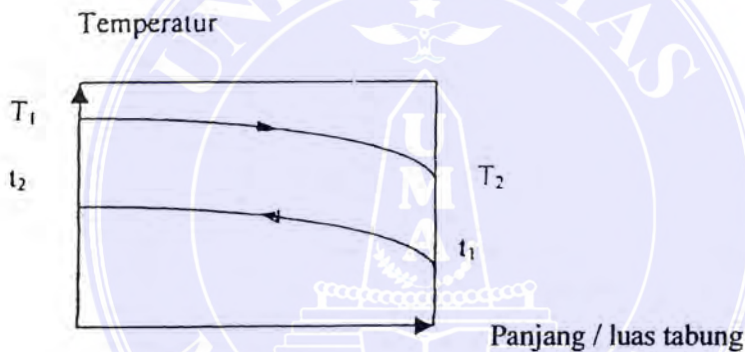
##### 2. 1. 1. Alat Penukar Kalor Langsung

APK langsung ialah fluida yang panas akan bercampur langsung dengan fluida yang dingin (tanpa alat pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu. Pada APK jenis ini, temperatur akhir fluida panas dan fluida dingin menjadi sama. Hal ini berarti panas yang diberikan fluida panas diterima secara utuh (100%) oleh fluida yang dingin. Pada APK ini umumnya media pemanas yang dipergunakan adalah uap basah dan air sebagai media yang dingin. Dengan demikian uap basah tersebut akan terkondensasi dengan melepas panas tertentu. Hubungan antara jenis

aliran, distribusi temperatur dan panjang tabung pada APK yang kontak langsung dapat dilihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2. berikut ini :



Gambar 1. Distribusi temperatur-panjang/ luas tabung APK langsung aliran fluida searah



Gambar 2. Distribusi Temperatur-panjang/luas tabung APK langsung aliran berlawanan arah

### 2. 1. 2. Alat Penukar Kalor Tidak Langsung

APK langsung, ialah fluida yang akan dipanaskan (fluida dingin) tidak berhubungan langsung (indirect contact) dengan fluida yang lebih panas. Jadi proses perpindahan panasnya mempunyai media perantara seperti pipa, pelat atau perantara lainnya. Ditinjau dari segi perubahan fasa yang terjadi pada APK ini maka dapat di kelompokkan dalam 2 kelompok yaitu :

1. APK mengakibatkan perubahan fasa, seperti kondensor, evaporator dan sebagainya.
2. Alat perubahan kalor fasa.

### 2. 1. 3. Alat Perubahan Kalor yang Mengakibatkan perubahan fasa

Dalam hal ini hanya di bahas dua perlakuan yang umum terjadi yaitu.

- Kondisi uap dalam kondensor

Untuk dapat menggambarkan aliran dan distribusi pada kondensor, maka harus diketahui proses apa yang terjadi dalam kondensor itu.

Yaitu proses perubahan fasa uap menjadi fasa air (air kondensat).

- Penguapan fluida di dalam pesawat penguap (evaporator).

### 2. 1. 4. Alat Penukar Kalor Tanpa Perubahan Fasa

APK jenis ini sangat banyak dipergunakan pada industri kimia. Khusus pada industri penyulingan minyak APK ini memegang peranan penting. Pada APK ini fluida yang panas memberi panas pada fluida yang lebih dingin, namun pada kedua fluida ini tidak terjadi perubahan fasa, tetapi akan mengalami penurunan temperatur pada fluida yang panas dan kenaikan temperatur pada fluida yang lebih dingin.

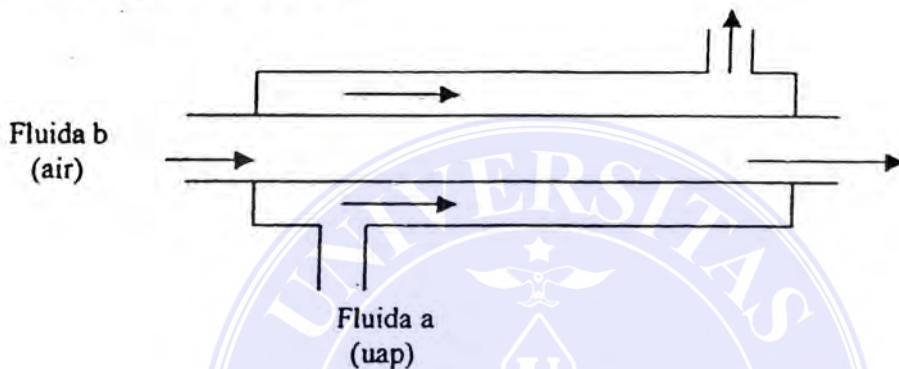
Aliran fluida yang panas dan yang dingin APK saling melintasi satu sama lain tidak hanya satu kali saja, tetapi dapat dibuat beberapa kali lintasan atau disebut juga dengan laluan.

## 2. 2. Klasifikasi Alat Penukar Kalor

### 2. 2. 1. Klasifikasi Menurut Aliran

#### A. Tipe aliran searah (paralel flow)

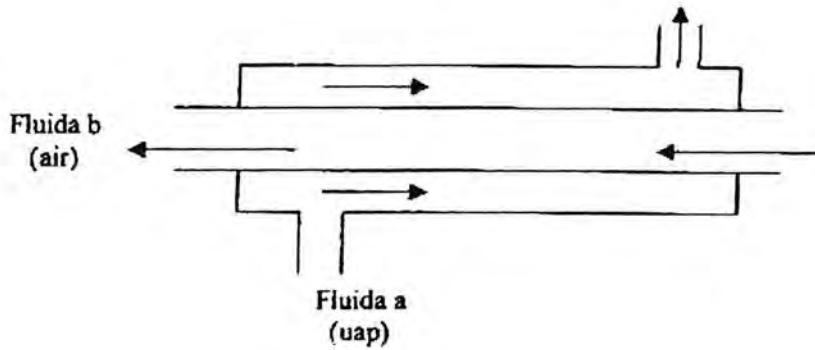
Pada tipe aliran searah adalah aliran fluida panas searah dengan fluida yang lebih dingin sering juga tipe disebut dengan aliran sejajar, seperti yang terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar.3. APK Aliran Searah

#### B. Tipe aliran berlawanan (countor flow)

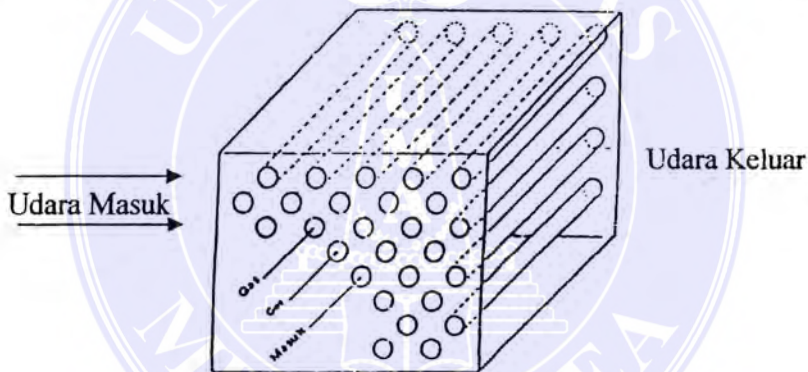
Pada tipe ini kedua fluida mengalir dalam arah yang berlawanan. Pada umumnya perbedaan temperatur antara fluida yang panas dan yang lebih dingin tidak konstan di sepanjang pipa, dan laju aliran panasnya akan berbeda-beda dari penampang ke penampang. Maka untuk menambah laju aliran panasnya harus dipergunakan suatu beda suhu rata-rata.



Gambar. 4. APK Aliran Berlawanan

### C. Tipe Aliran Menyilang (Cross Flow)

Aliran fluida pada jenis ini antara fluida yang lebih panas dengan yang lebih dingin disepanjang permukaan pipa bergerak dalam arah saling tegak lurus.



Gambar.5 APK Aliran Meyilang

### 2. 2. 2 Klasifikasi Menurut Jumlah Lalan

Yang dimaksud dengan lalan dalam APK adalah lalan yang dilakukan oleh fluida dalam selongsong atau dalam susunan tabung. Pada APK ada dua jenis lalan yaitu :

#### a. Lalan selongsong

Yang dimaksud dengan lalan selongsong adalah lalan yang dilakukan oleh fluida mulai dari saluran masuk (inlet nozzle), melewati bagian dalam

selongsong dan mengelilingi tabung dan keluar dari saluran buang (outlet nozzle). Apabila laluan itu dilakukan satu kali maka disebut dengan 1 laluan selongsong, jika terjadi 2 kali atau n kali disebut dengan 2 atau n laluan cangkang.

b. Laluan tabung

Laluan tabung adalah fluida masuk ke dalam APK melalui salah satu ujung (front heat) lalu mengalir ke dalam tabung dan keluar dari ujung yang lain. disebut dengan 1 laluan tabung. Bila fluida membelok lagi masuk ke dalam tabung dan keluar dari ujung yang lain, disebut dengan 1 laluan tabung. Bila fluida membelok lagi masuk ke dalam tabung, sehingga menjadi dua kali lintasan fluida dalam maka disebut 2 laluan tabung. Pada umumnya laluan pada selongsong lebih sedikit dari laluan tabung atau sama, seperti contoh 1-1 laluan, 1-2 laluan, 2-4 laluan.

### 2. 2. 3. Kontruksi Alat Penukar Kalor

Kontruksi penukar kalor shell and tube dapat dibagi dalam empat bagian yaitu:

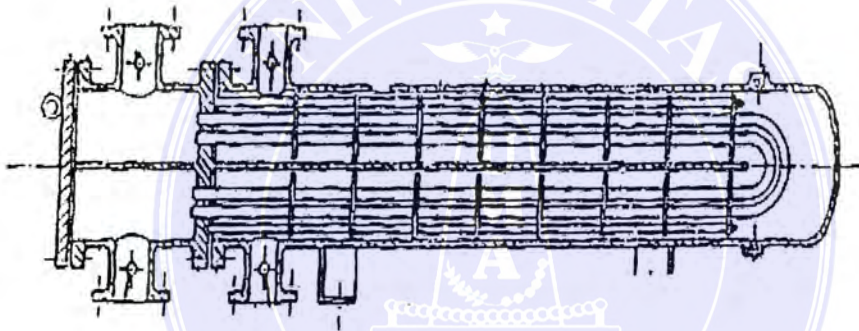
1. Bagian depan yang tetap (front head stationary head)
2. Cangkang (shell)
3. Bagian ujung belakang (rear end head)
4. Berkas tube dalam tube bundle (kumpulan tube) yang dimasukkan dalam tube sheet.

Di dalam TEMA standard, masing-masing bagian tersebut telah diberikan kode dengan menggunakan huruf. Bagian penukar kalor yang tetap (front head stationary head) terdiri dari empat type yaitu : A, B, C, dan D. Sedangkan shell

alat penukar kalor terdiri dari enam type yaitu : E, F, G, H, J dan K. Bagian ujung belakang ( rear end head) ada delapan type yakni : L, M, N, P, S, T, U dan W.

Sedangkan bagian yang lain yaitu tube-bundle (berkas tube) pada umumnya sama, dimana pada ujungnya diroll pada tube. Namun berkas itu dikenal 2 jenis, yaitu:

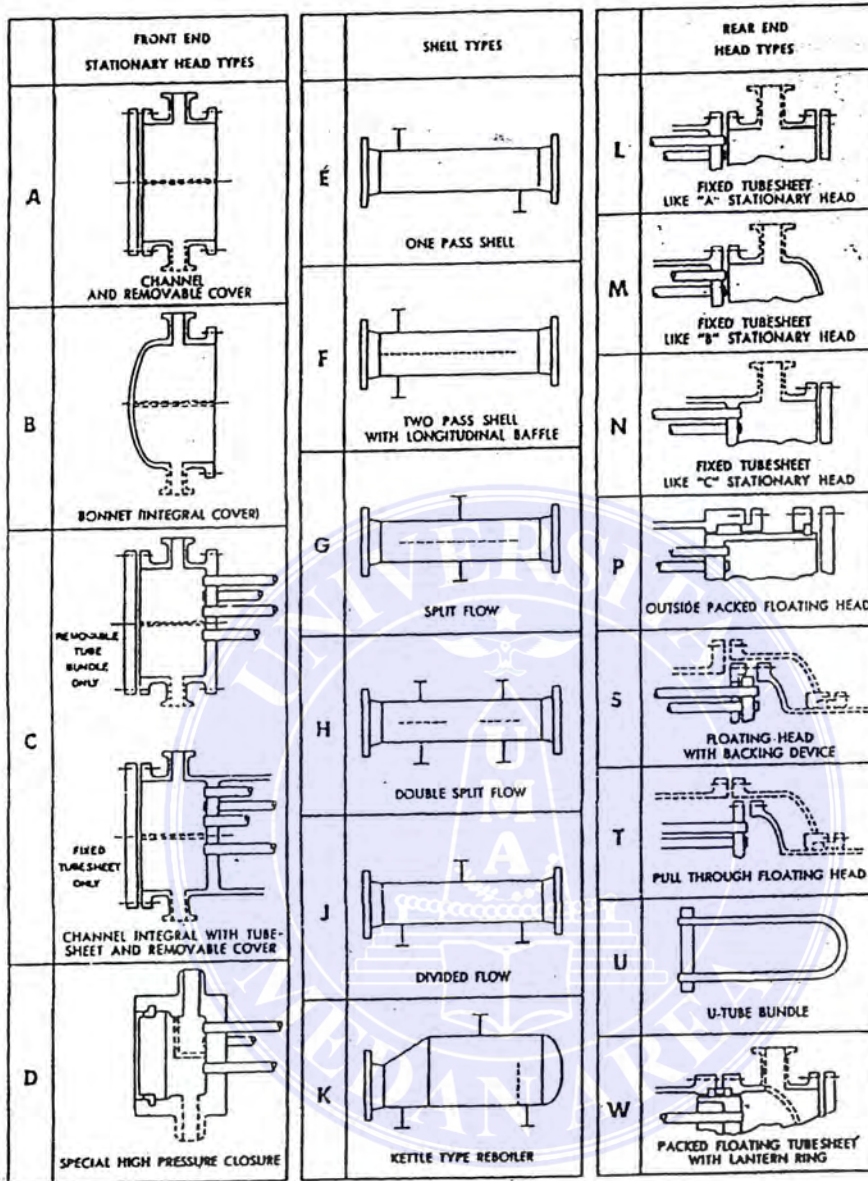
- a. Tube bundle yang lurus, dengan 2 buah tube sheet
- b. Tube bundle berbentuk U, dengan 1 buah tube sheet, yaitu seperti tipe U pada rear head.



Gambar.6. Alat Penukar Kalor Tipe CFU

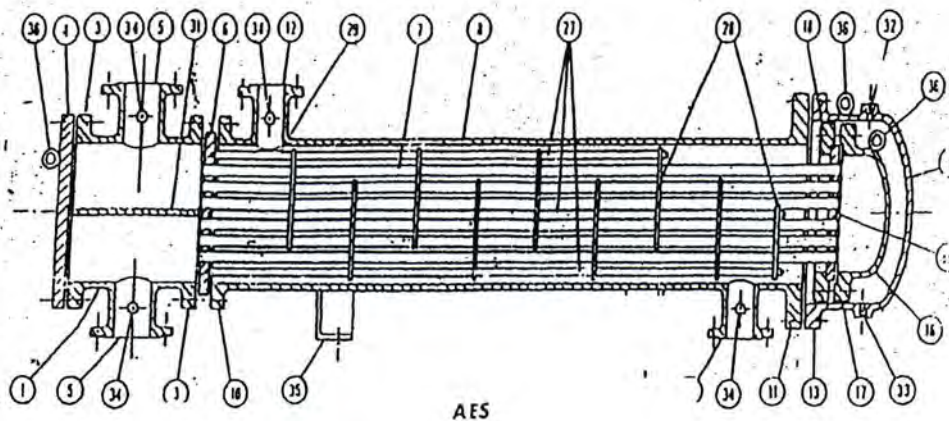
Untuk menentukan type penukar kalor dengan menggabungkan salah satu huruf dari masing-masing bagian alat penukar kalor tersebut misalnya penukar kalor dinyatakan sebagai berikut : 23 – 192 type AES, artinya : alat penukar kalor yang split-ring floating head, aliran 1 pass pada shell dan 2 pass pada tube. Diameter dalam dari shell atau nominal diameter 23 ¼ “ dan panjang 192’ 1/4 . Disini dilakukan pembulatan ukuran shell 23 ¼ menjadi 23.

Ketiga bagian tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

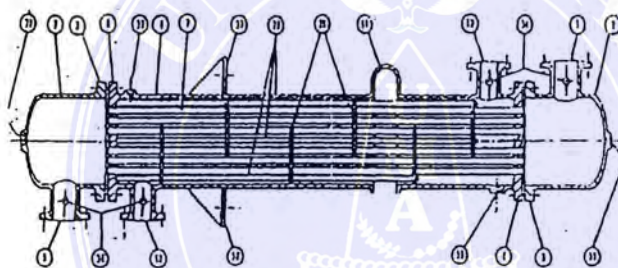


Gambar.7. Bagian-bagian dari alat penukar kalor  
(Berdasarkan standart TEMA )

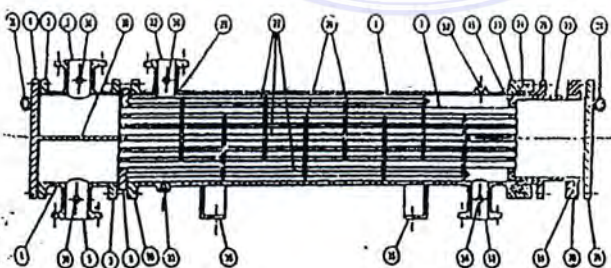




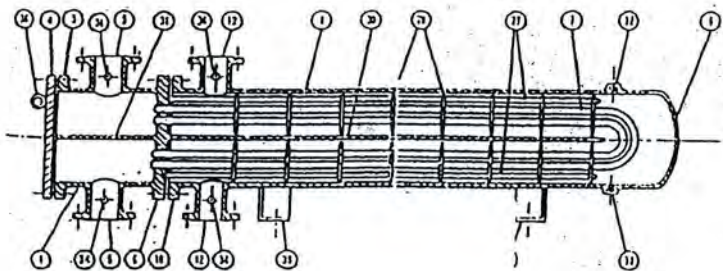
Gbr.8. Penukar Kalor Tipe AES (Standart Tema)



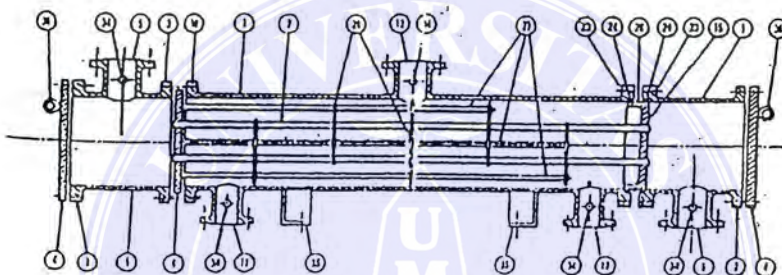
Gbr. 9. Penukar Kalor Tipe BEM (Standart Tema)



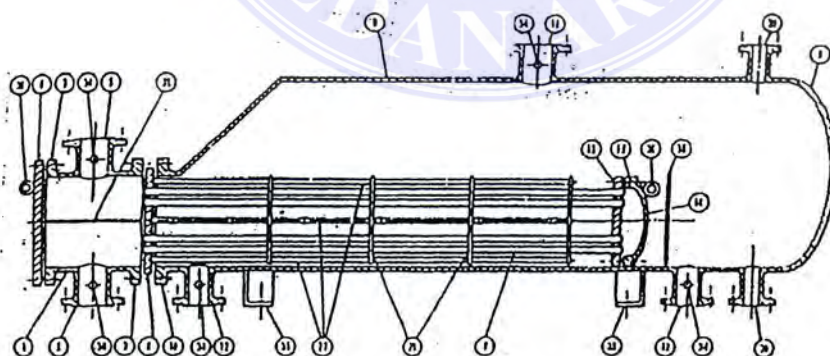
Gbr.10. Penukar Kalor Tipe AEP (Standart Tema)



Gbr. 11 Penukar Kalor Tipe CPU ( Standart Tema)



Gbr. 12 Penukar Kalor Tipe AJW ( Standart Tema)



Gbr. 13 Penukar Kalor Tipe AKT (Standar Tema)

Keterangan gambar :

- |   |  |
|---|--|
| 1. Stationary Head – Channel                | 2. Stationary head – Bonnet            |
| 3. Stationary Head Flange-Channel or Bonnet | 4. Channel Cover                       |
| 5. Stationary Nozzle Head                   | 6. Stationary Tube Sheet               |
| 7. Shell                                    | 8. Shell                               |
| 9. Shell Cover                              | 10. Shell Flange Stationary Head End   |
| 11. Shell Flange-Rear Head End              | 12. Nozzle Shell                       |
| 13. Shell Cover Flange                      | 14. Expansion Joint                    |
| 15. Floating Head Cover                     | 16. Floating Head Cover                |
| 17. Floating Head Flange                    | 18. Floating Head Backing Device       |
| 19. Slip-On Shear Ring                      | 20. Slip-On Backing Service            |
| 21. Floating Head Cover                     | 22. Floating Tube Sheet Skirt          |
| 23. Floating Head Follower Ring             | 24. Packing                            |
| 25. Floating Head Follower Ring             | 26. Lantern Ring                       |
| 27. Gaskets and Spacer                      | 28. Transverse Baffle or Support Plate |
| 29. Support Baffles                         | 30. Longitudinal Baffles               |
| 31. Partition                               | 32. Venting                            |
| 33. Saddle                                  | 34. Instrument                         |
| 35. Bracket                                 | 36. Lifting Lug                        |
| 37. Level Connection                        | 38. Lifting Lug                        |

Keterangan gambar diatas dikutip dari buku Alat Penukar Kalor (Head Exchanger), Ir. Sitompul SE. Msc, hal 19, 20, 21 dan hal 2

### 3.3.3. Jenis-jenis Penukar Kalor

Sebabkan telah luasnya penggunaan peralatan-peralatan yang menggunakan tube (tubular equipment) dalam alat penukar kalor, maka untuk mengetahui kesimpangsiuran pengertian perlu diberikan pengelompokan peralatan berdasarkan fungsinya yaitu :

#### Chiller

Chiller penukar kalor ini dipergunakan untuk mendinginkan fluida sampai temperature yang sangat rendah. Temperatur pendingin didalam chiller jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan pendinginan yang dilakukan dengan pendingin air. Untuk chiller ini, media pendingin yang dipergunakan adalah amoniak atau Freon.

## 2. Kondensor

Alat penukar kalor ini dipergunakan untuk mendinginkan atau mengembunkan uap atau campuran uap sehingga berubah fase menjadi cairan. Media pendingin yang biasa dipakai air, uap atau campuran uap itu akan melepaskan panas latent kepada pendingin misalnya pada PLTU yang mempergunakan condensing turbin, maka uap bekas dari turbin akan masuk kedalam kondensor lalu diembunkan menjadi kondensat. Media pendingin yang digunakan adalah air sungai atau air laut dengan suhu udara luar.

## 3. Cooler

Alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan (menurunkan) temperatur cairan atau gas dengan menggunakan air sebagai media pendingin. Disini tidak dipermasalahkan terjadinya perubahan fase atau tidak seperti yang terjadi pada kondensor. Dengan perkembangan teknologi dewasa ini maka pendingin cooler dipergunakan udara dengan bantuan fan (kipas). Ini mempunyai keuntungan dibandingkan dengan cooler yang menggunakan air sebagai media pendingin.

## 4. Exchanger atau heat exchanger

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida untuk pemanasan aliran fluida lain. Maka terjadi dua fungsi sekaligus yakni;

- a. Memanaskan fluida yang dingin, dan
- b. Mendinginkan fluida yang panas

Suhu masuk dan keluar kedua jenis fluida diatur sesuai dengan kebutuhannya.

## 5. Reboiler

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk mendidihkan kembali (reboil) serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Adapun media pemanas yang sering dipergunakan adalah uap atau zat panas yang sedang diproses itu sendiri. Hal ini dapat dilihat pada destilasi, absorpsi, dan stripping. Umumnya reboiler itu dipasang pada bagian bawah dari tower / column destilasi penyulingan minyak.

## 6. Heater

Alat penukar kalor ini digunakan untuk memanaskan (menaikkan suhu) suatu fluida proses. Umumnya zat pemanas yang dipergunakan adalah uap atau fluida panas lainnya. Contohnya heater (pemanas) pada PLTU, dimana sebagian uap dicerat (extraction turbine) lalu dimasukkan kedalam heater air pengisi ketel, maka suhu air pengisi ketel semakin tinggi saat mencapai drum uap ketel. Disini uap yang dicerat itu melepaskan sensible heat sehingga menjadi kondensat.

## 7. Thermosiphon dan forced circulation reboiler

Thermosiphon Reboiler adalah reboiler, dimana terjadi sirkulasi fluida yang akan dididihkan dan dipenukar kalor dengan proses sirkulasi alamiah (natural circulation). Pada reboiler sirkulasi paksa, sirkulasi terjadi akibat adanya pompa sirkulasi.

## 8. Steam Generator atau Pembangkit Uap

Alat penukar kalor ini lebih dikenal dengan ketel uap dimana terjadi pembentukan uap dalam unit pembangkit. Panas dari hasil pembakaran bahan bakar dalam ketel dipindahkan dengan cara konveksi, konduksi dan radiasi.

Berdasarkan sumber panasnya, maka pembangkit uap itu dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu :

a. Pembangkit uap jenis pipa air

Pada jenis ini fluida yang berada dalam pipa adalah air ketel sedangkan pemanas berupa nyala api dan gas asap berada diluar pipa.

b. Pembangkit uap jenis pipa api

Pada jenis ini nyala api berada dalam pipa sedangkan air yang akan diuapkan berada diluar pipa dalam suatu bejana khusus.

Dewasa ini yang paling banyak digunakan adalah jenis pipa air, sebab dapat menghasilkan uap bertekanan tinggi.

9. Waste heat boiler

Kalau pada ketel uap, sumber panas adalah hasil pembakaran bahan bakar dalam dapur ketel, maka pada waste heat boiler panas diperoleh dari pemanfaatan gas asap pembakaran (gas buang-flue gas), atau dari cairan yang panas diperoleh dari reaksi-reaksi kimia. Dalam usaha konversi energi yang maksimal, dewasa ini pemanfaatan waste heat boiler banyak digunakan.

10. Superheater

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk mengubah uap basah (saturated steam) menjadi uap kering (superheater steam) pada pembangkit uap. Proses ini terjadi dalam ketel sendiri, sebab superheater itu berada didalam ketelnya. Proses perpindahan panas yang bisa terjadi secara konveksi dan secara radiasi. Uap basah berada didalam pipa dan gas pemanas diluar pipa. Kedua jenis superheater ini mempunyai karakteristik yang berbeda. Biasanya

yang dipergunakan adalah panas yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada dapur ketel atau panas asap pembakarannya.

## 11. Evaporator

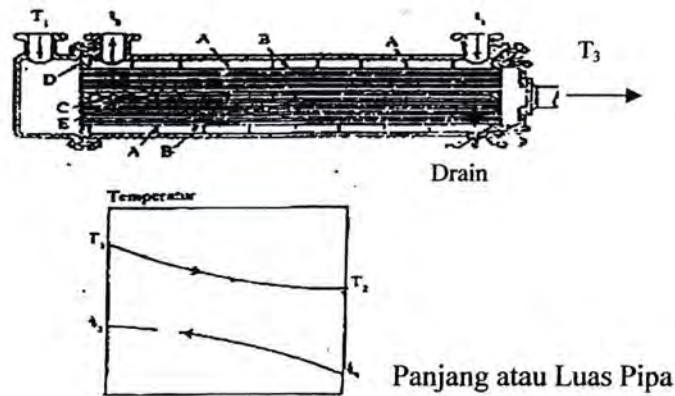
Alat penukar kalor ini dipergunakan untuk menguapkan cairan cair yang ada pada larutan, sehingga dari suatu larutan diperoleh larutan yang lebih pekat (thick liquor). Media pemanas yang dipergunakan adalah uap yang bertekanan rendah, sebab yang dimanfaatkan adalah latent-heat, yaitu mengubah fase uap menjadi fase air. Banyak jenis evaporator yang dipergunakan seperti evaporator sirkulasi basah (alami), evaporator sirkulasi paksa, evaporator efek tunggal, evaporator efek ganda dan lain-lain.

## 12. Vaporiser

Vaporiser ini sama juga dengan evaporator, bedanya jenis ini dipergunakan untuk menguapkan cairan pelarut yang bukan air.

### 1. **APK 1-1 Laluan**

Yang dimaksud dengan APK 1-1 laluan adalah laluan fluida dalam selongsong satu dan laluan pada tabung juga satu laluan. Secara sederhanakonstruksinya dapat dilihat pada gambar 2.6. berikut ini dengan arah yang berlawanan.

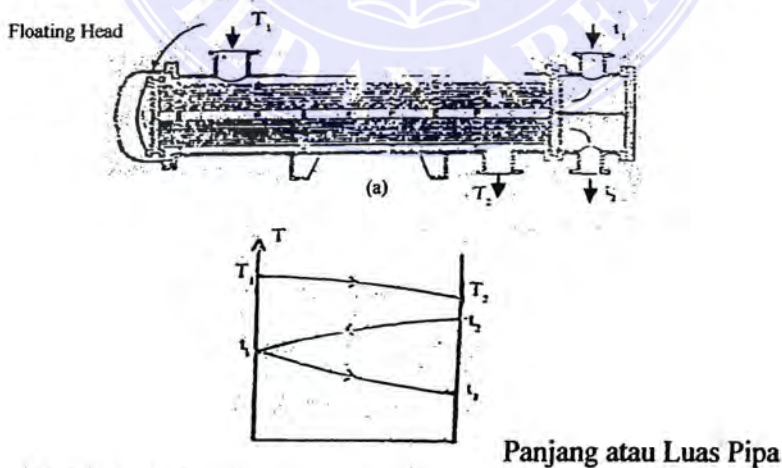


Gambar 14. APK 1-1 laluan

Fluida masuk ke dalam selongsong pada temperatur  $t_1$  dan keluar pada temperatur  $t_2$ , sedangkan fluida yang masuk ke dalam tabung dengan temperatur  $T_1$  dan keluar pada temperatur  $T_2$ .

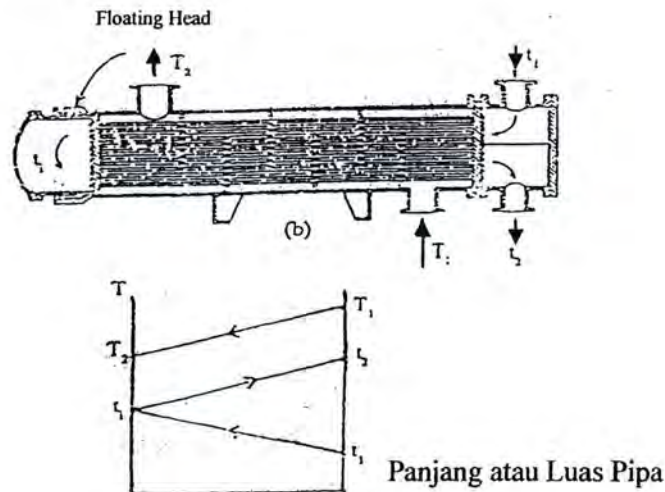
#### APK dengan 1-2 laluan

Yang dimaksud dengan 1-2 laluan adalah laluan dalam selongsong 1 dan laluan dalam tabung 2 laluan. Untuk memperoleh laluan tersebut pada sisi tabung diperlukan floating head, seperti pada gambar 2.7 dan 2.8 berikut ini.



Gambar 15. APK 1 - 2 Laluan dengan Aliran Searah - Menyilang



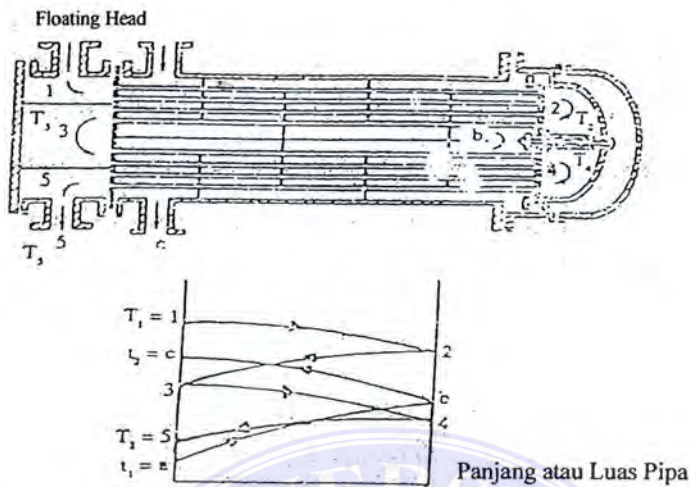


Gambar 16. APK 1 – 2 Lalan Dengan Aliran Searah – Menyilang

### 3. APK 2 – 4 Lalan

APK 2 – 4 lalan adalah APK yang mempunyai 2 lalan selongsong dan 4 lalan pada tabung, disebut juga dengan APK lalan banyak. Pada jenis terdapat pengurangan luas penampang lalan aliran, sedangkan aliran fluida semakin bertambah besar dan juga perpindahan panasnya semakin meningkat. Kerugian pada APK lalan banyak ini adalah :

- Konstruksinya semakin kompleks.
- Kerugian gesekan besar, sebab semakin banyak lalan pada tabung akan semakin besar pula kerugian aliran masuk dan keluar pada tabung tersebut.



Gambar 17. APK 2 – 4 laluan

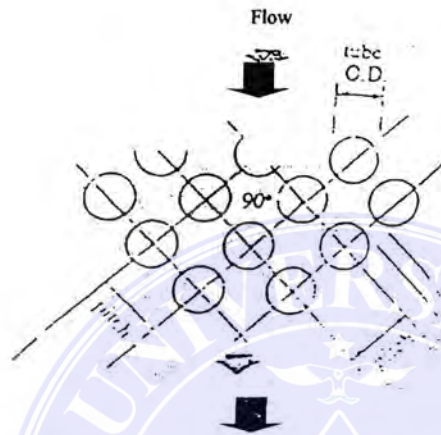
Pada perencanaan HPH ini, tipe alat penukar kalor yang dipergunakan adalah tipe U dengan jumlah laluan 1 – 2 laluan, dimana uap dialirkan pada sisi selongsong dan air dalam tabung. Uap yang dipergunakan pada perencanaan ini diambil dari uap ekstraksi dari turbin uap yang mempunyai tekanan dan temperatur cukup tinggi. Pada bab berikutnya dapat dilihat skema aliran uap tersebut, serta perhitungan kebutuhan uap, temperatur dan tekanan pada masing-masing APK.

### 2. 3. Susunan Untuk Tube

Tipe susunan tube dirancang untuk memberikan kemampuan melepas atau menerima panas pada alat penukar kalor dan ini juga dipergunakan oleh besarnya luas permukaan itu tergantung dari panjang, ukuran, jumlah tube yang dipergunakan pada alat penukar kalor tersebut. Penjelasan mengenai susunan tube dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

### 2. 3. 1. Tube dengan susunan segi tiga (Triangular pitch)

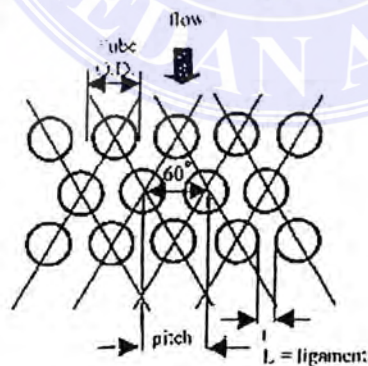
Kebaikan dari susunan ini adalah Film koefisien lebih tinggi, dapat dibuat jumlah tube lebih banyak sebab susunannya lebih kompak.



Gambar 18. Susunan Tube Segi Tiga (triangular pitch)

### 2. 3. 2 Tube Dengan Susunan Segi Tiga diputar 30° (rotated triangular)

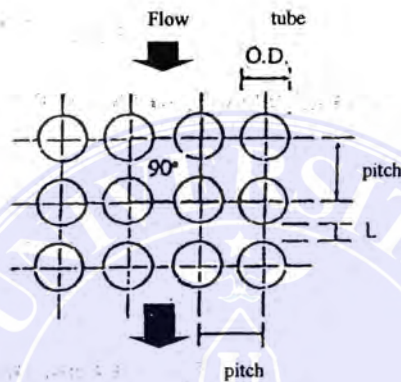
Kebaikan dari susunan ini adalah cocok digunakan untuk fluida yang kotor dan film koefisien tidak sebesar susunan tube pada jenis susunan segi tiga.



Gambar 19. Susunan tube segitiga diputar 30°

### 2.3.3 Tube Dengan Susunan Bujur Sangkar (in-line square pitch)

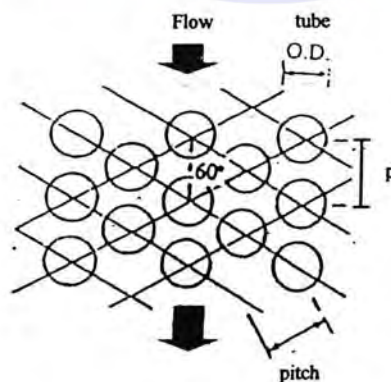
Kebaikan dari susunan ini adalah baik digunakan untuk kondisi yang memerlukan jatuh tekanan rendah. Baik untuk pembersih luar tube secara mekanik, dan baik untuk melayani fluida yang kotor.



Gambar 20. Susunan tube bujur sangkar

### 2.3.4 Tube Susunan Berbentuk Belah Ketupat Atau Bujur Sangkar Yang Diputar 45° (diamond square pitch)

Kebaikan susunan ini adalah medan untuk pembersihan dengan mekanik untuk fluida yang kotor.



Gambar 21. Susunan Tube Bujur Sangkar Diputar 45°

### 2.3.5. Hubungan Susunan Tube Dan Diameter Luar Tube

Besar pitch (jarak) pada masing-masing susunan tube mempunyai hubungan langsung dengan besar diameter luar tube. Umumnya jarak antara tube dengan tube adalah 1,25 kali diameter luar tube ( $d_o$ ).

Dalam analisa ini diameter luartube ( $d_o$ ) adalah 16 mm. Sehingga jarak antara tube ( $P_1$ ) adalah :

$$\begin{aligned} p_1 &= (d_o) \times 1,25 \\ &= (16 \text{ mm}) \times 1,25 \\ &= 20 \text{ mm} \quad (\text{Literatur 1, hal 47}) \end{aligned}$$

Celah antara tube dengan tube (C) :

$$C = (P_1 - d_o) = (20 - 16) = 4 \text{ mm} = 0,4 \text{ cm}$$

Walaupun secara teoritis dapat dihitung jumlah tube yang diperlukan oleh alat penukar kalor pada beban tertentu, namun hasil perhitungan teoritis tersebut tidak selalu sesuai pada pelaksanaan konstruksi alat penukar kalor tersebut. Untuk mengatasi masalah itu, TEMA telah membuat suatu tabel standart yang menunjukkan hubungan diameter tube, jumlah tube, susunan tube serta diameter dalam shell. Adakalanya bahwa besarnya diameter dari shell itu harus diperbesar, yaitu untuk membuat ruangan untuk memasang tie-rod pada tube bundel dengan sekat (baffles) serta mengikatnya ke tube sheet, dan juga apabila digunakan sekat pembagi arus aliran tube saat masuk ke dalam shell.

Shell	TEMA Type L or M Fixed Tube sheet				TEMA Type D Outside Floating Head				TEMA Type S Inside Floating Head				TEMA Type U U Tube			
	Jumlah Pass		Jumlah Pass		Jumlah Pass		Jumlah Pass		Jumlah Pass		Jumlah Pass		Jumlah Pass			
ID In	1	2	4	6	1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6	8
5,047	14	14	12		10	10	8		10	10	4		6	4		
6,065	22	20	16	22	19	18	16		19	14	12		10	8		
7,981	42	40	36	60	38	36	32	28	32	32	28	26	28	24		
10,02	73	72	61	61	64	62	60	38	61	60	48	46	56	44		
12,00	96	96	86	96	96	94	84	78	96	94	80	78	86	72		

13,25	139	134	124	122	121	110	100	98	121	118	104	98	108	96
13,25	187	180	165	161	151	146	140	138	163	164	144	140	148	136
17,25	241	232	220	212	208	196	188	160	216	211	196	158	200	184
19,25	296	290	280	270	258	242	252	230	276	270	260	235	254	240
21,25	372	254	344	330	320	316	296	198	331	338	324	300	314	300
23,25	434	420	404	404	380	372	364	335	396	396	376	339	388	363
25,00	507	489	476	482	475	466	452	430	460	440	420	414	452	432
27,00	621	594	568	582	530	526	508	495	558	554	536	494	538	524
29,00	689	679	660	672	653	642	620	610	624	605	589	581	632	612
31,00	808	804	772		724	696	688	669	756	744	716	669	732	703
33,00	906	891	860		859	848	818	805	818	797	783	771	838	808
35,00	1030	1026	1000		946	922	904	880	980	978	944	880	950	916
37,00	1152	1134	1090		1106	1081	1054	966	1047	1039	1001	996	1074	1040
39,00	1273	1259	1222		1218	1208	1174	1125	1172	1165	1130	1125	1200	1164
42,00	1485	1461	1434		1426	1399	1376	1306	1367	1330	1322	1305	1406	1364
45,00	1721	1693	1650		1652	1620	1586		1633	1608	1536	1304	1602	1554
45,00	1968	1941	1902		1894	1861	1820		1887	1842	1765	1740	1870	1882
55,00	2221	2187	2134		2142	2101	2060		2143	2104	2014	1992	2122	2076
54,00	2802	2465	2414		2417	2375	2326		2399	2366	2270	2214	2396	2340
50,00	3025	3059	3010		2990	2957	2906		2981	2940	2932	2800	2992	2936

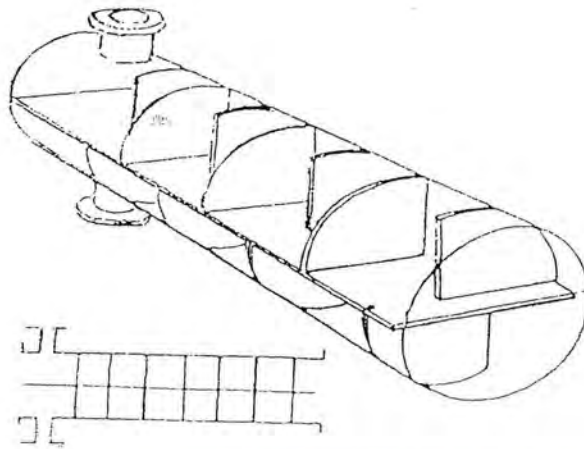
Tabel 1. Hubungan Susunan Tube Dan Diameter Luar Tube

#### 2. 4. Baffle Atau Sekat

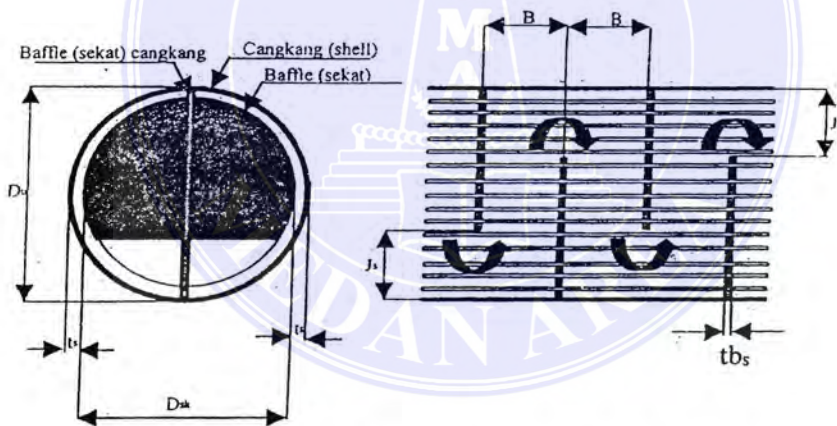
Alat penukar kalor jenis shell and tube selalu mempunyai sekat (baffle).

Sekat yang terpasang pada cangkang (shell) alat penukar kalor mempunyai beberapa fungsi yaitu :

1. Sebagai struktur untuk menahan tube bundel
2. Sebagai damper untuk menahan atau mencegah terjadinya getaran (vibrasi) pada tube.
3. Sebagai alat untuk mengarahkan aliran fluida yang mengalir diluar tube(cangkang side).



Gbr. 22. Sekat Standar 2 Pass Aliran Pada Sisi Cangkang (Shell)

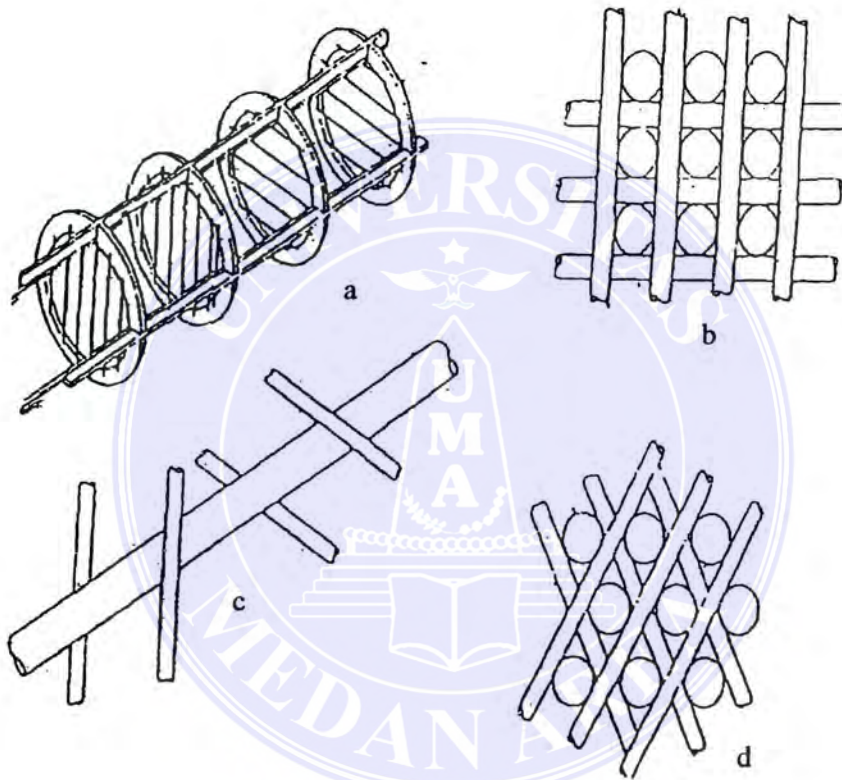


Gbr. 2.3 Posisi Baffle (sekat) Dalam Cangkang (Shell)

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

1. Sekat Pelat berbentuk segment (segment baffles plate)
2. Sekat batang (rod baffles)

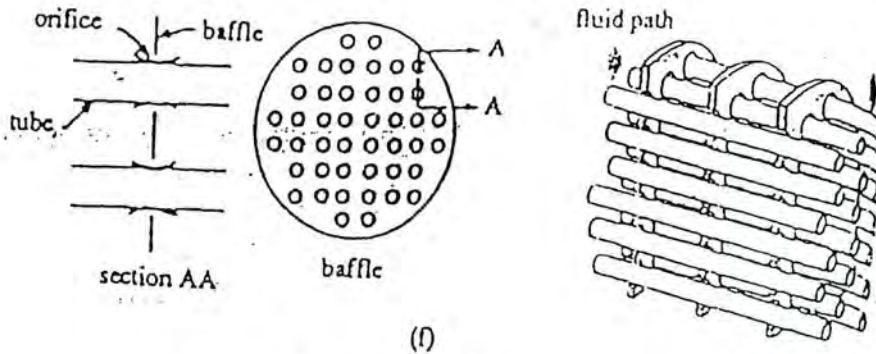
3. Sekat mendatar (longitudinal baffles)
4. Sekat impingment (impingment baffles)



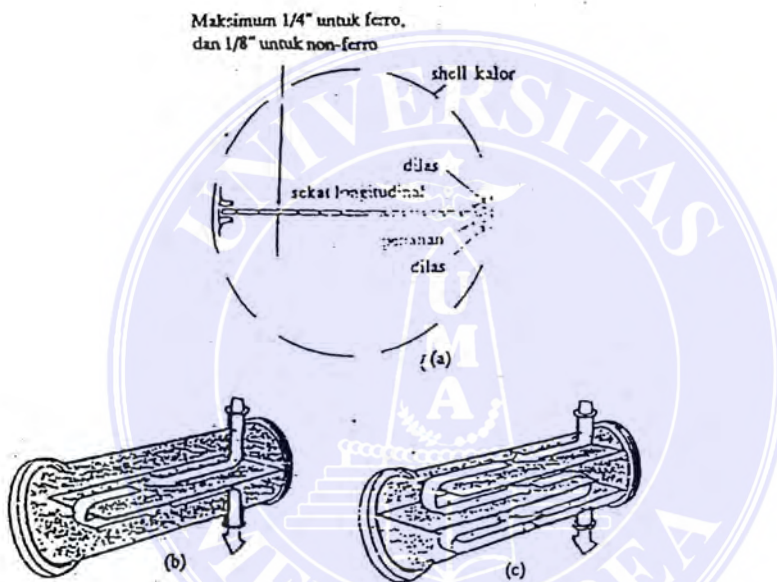
**GAMBAR 24. Sekat batang**

- a. Empat Buah sekat penahan rod yang ditunjang oleh skid bar
- b. Tube yang ditahan oleh 4 buah rod
- c. Susunan Tube membentuk bujur sangkar
- d. Susunan Tube membentuk segitga





Gambar 25. Sekat orifis



Gambar 26. Sekat longitudinal  
 a. Penampang, b. Longitudinal dengan 2 pass,  
 c. Sekat longitudinal dengan 4 pass

Dari analisa alat penukar kalor ini, sekat pelat yang digunakan adalah sekat pelat yang berbentuk segment. Sekat pelat berbentuk segment merupakan jenis umum yang digunakan dan dipasang dengan posisi tegak lurus terhadap tube. Disamping membelokkan arah aliran, sekat ini berfungsi sebagai penyangga tube, sehingga yang terjadi pada tube akibat aliran fluida diluar dan didalam tube, tidak mengakibatkan kerusakan pada tube.

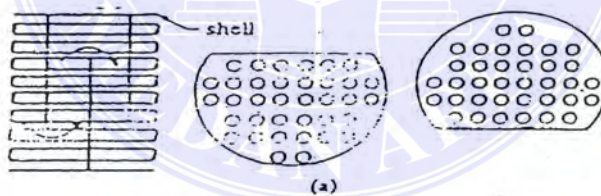
**2. 4. 2. Sekat Bentuk Segment**

Konstruksi sekat ini terdiri dari bahan pelat yang dilubangi sebagai tempat kedudukan tube dan setiap alat penukar kalor menggunakan lebih dari satu sekat.

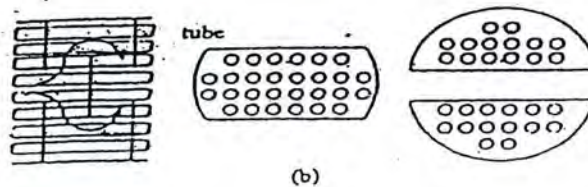
Beberapa jenis pelat sekat yang sering digunakan antara lain yaitu :

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

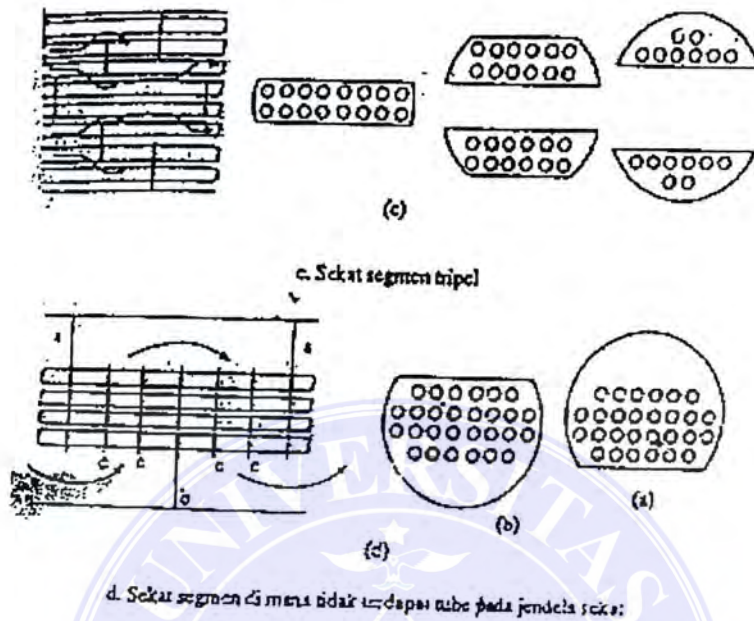
Dari analisa alat penukar kalor ini sekat pelat yang digunakan adalah jenis sekat segment tunggal.



**a. Sekat Segman tunggal**



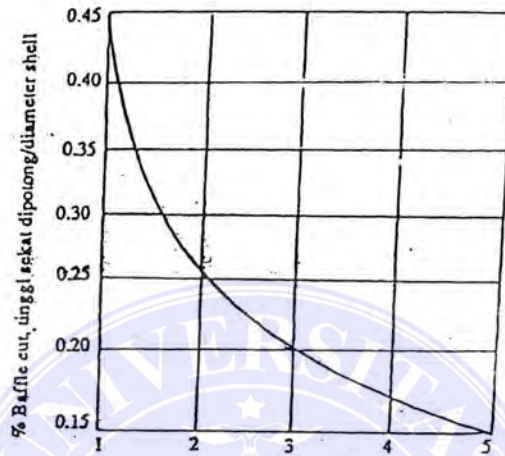
**b. Sekat segmen ganda**



### 2. 4. 3. Jendela Sekat (Baffle Cut)

Aliran fluida dalam cangkang sangat dipengaruhi oleh pelat sekat yang terpasang pada cangkang. Fluida yang mengalir pada cangkang akan mengalami hambatan pada sekat-sekat tersebut. Untuk mengatasi hal yang demikian, maka sekat-sekat yang terpasang dipotong pada bagian-bagian tertentu dan ini disebut baffle cut atau baffle windows (jendela sekat). Besarnya bagian sekat yang dipotong, serta jumlah sekat yang dipotong, tergantung pada konstruksi sekat yang dipotong, serta jumlah sekat yang dipotong, tergantung pada konstruksi sekat yang diinginkan. Batas pemotongan ini akan mempengaruhi jenis aliran yang terjadi. Biasanya hal ini dinyatakan dalam persentase atau % of baffle cut.

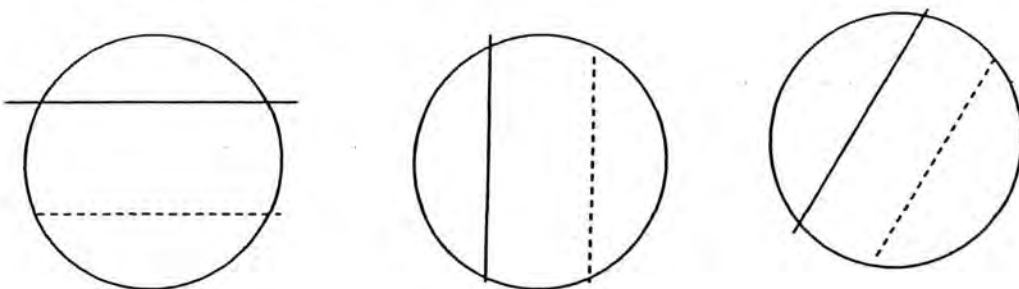
Untuk menentukan % of baffle cut tersebut dapat digunakan chart yang menyatakan antara % of baffle vs rasio diameter cangkang dengan jarak sekat, seperti tercantum dibawah ini.



Gambar 28. Hubungan antara baffle cut dengan rasio diameter shell dan jarak sekat (baffle pitch)

Jenis-jenis potongan sekat yang umum digunakan adalah :

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



a. Dipotong mendatar

b. Dipotong Vertikal

c. Dipotong miring

Gambar 29. Jenis pemotong sekat (baffle cut) mendatar Tegak lurus dan miring

Dalam analisa sekat ini, yang digunakan adalah baffle cut mendatar. Hal ini karena fluida yang mengalir pada cangkang adalah tube yang memiliki system tertutup sehingga praktis dianggap bebas dari kotoran. Selain itu dibagian bawah baffle juga dipotong  $\pm 1$  ". Pemotong ini merupakan tindakanantisipasi terhadap kemungkinan adanya kotoran yang terikut pada fluida, sehingga kotoran tersebut tidak menumpuk pada bagian bawah cangkang

#### 2. 4. 4. Tebal Sekat

Beberapa faktor yang mempengaruhi ukuran tebal sekat antara lain :

1. Diameter nominal cangkang
2. Jarak antara sekat dengan sekat

Tabel dibawah ini memperlihatkan hubungan antara diameter nominal cangkang, jarak antara sekat dengan sekat dan hubungannya dengan tebal pelat sekat.

Tipe	Diameter nominal shell	Tebal Pelat Sekat (Inchi)						
		Jarak Antar Sekat dengan Diameter Penuh (Inchi)						
		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	6-14	1/16		1/8	3/16	1/4	3/8	3/8
	15-28	1/8		3/16	1/4	3/8	3/8	1/3
	29-38	3/16		1/4	5/16	3/8	1/2	5/8
	39-60			3/8	1/2	5/8	5/8	5/8
B	6-14	1/8		1/8	3/16	1/4	3/8	3/8
	15-28	1/8		3/16	1/4	3/8	3/8	1/3
	29-38	3/16		1/4	5/16	3/8	1/2	5/8
	39-60			1/4	3/8	1/2	5/8	5/8

Tabel 2. Standard TEMA tebal pelat sekat (Literatur 1 hal 102)

Sesuai tabel diatas, untuk alat penukar kalor tipe C dengan diameter nominal cangkang 31,5 “dan jarak antara sekat  $B = D_s 31,5$  “ maka tebal pelat sekat adalah :  $5/16 \text{ “} = 8 \text{ mm}$ .

#### 2. 4. 5. Jarak Sekat

Penentuan jarak antara sekat dengan sekat sangatlah penting sekali. sebab hal ini secara langsung mempengaruhi panjang lintasan fluida yang mengalir diluar tube. bila  $N_b$  adalah jumlah sekat, maka lintasan melintang pada tube =  $N_b + 1$ .

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

Dalam hal menentuksn jarak antara sekat (baffle pitch) terdapat dua alternatif, yaitu :

1. Jarak antara sekat maksimum (maximum spacing) yaitu :

$B =$  diameter sebelah dalam shell (inch)

2. Jarak antara sekat minimum (minimum spacing) yaitu :

$B = 1/5$  diameter sebelah dalam shell atau 2 inch, (atau lebih besar).

Apabila jarak antara sekat dibuat terlalu besar, maka aliran fluida antara aksial sehingga tidak terdapat aliran melintang. sebaliknya bila jarak antara sekat dibuat terlalu sempit, maka akan menimbulkan kebocoran yang berlebihan antara cangkang (shell) dengan sekat.

Oleh TEMA telah disusun suatu tabel yang menunjukkan hubungan antara diameter luar tube yang dipakai, bahan tube dengan jarak maksimum sekat seperti tercantum di bawah ini :

Tipe	Diameter luar tube	Jarak maksimum sekat (inchi)	
		Bahan tube dan batas temperature (°F)	
		Baja karbon & paduan baja (750) Baja paduan rendah (850) Nickel-cooper (600) Nickel (850) Nickel chromium iron (1000)	Aluminium & Paduan Tembaga Titanium Zirconium
R	¾	60	52
	1	74	64
	1,25	88	76
	1,5	100	87
	2	125	110
C	¼	26	22
	3/8	35	30
	½	44	38
	5/8	52	45
	¾	60	52
	1	74	64
	1,25	88	76
	1,5	100	87
	2	125	100
B	5/8	52	45
	¾	60	52
	1	74	64
	1,25	88	76
	1,5	100	87
	2	125	100

Tabel 3. Standard TEMA jarak maksimum sekat (Literatur 1 hal 104)

Catatan : Khusus untuk alat penukar kalor tipe C, untuk sekat tidak digunakan Titanium dan Zirconium. (Literature.1 Hal 104)

Sesuai tabel diatas, untuk alat penukar kalor tipe C dan diameter luar tube ¾", maka jarak maksimum sekat adalah 52" =1,32 m.

### 2. 4. 6. Ruang Bebas dan Toleransi Sekat

Kedudukan sekat (baffle) pada alat penukar kalor adalah bagian dalam cangkang (shell). agar sekat dapat dimasukkan kedalam cangkang maka harus ada kelonggaran (clearance) antara diameter dalam cangkang dan diameter sekat. Ruang bebas ini akan mempengaruhi aliran fluida diluar tube. Semakin besar pula kebocoran antara cangkang dengan sekat. untuk menentukan besarnya ruang bebas antara sekat dengan cangkang dapat digunakan standar yang disusun oleh TEMA.

Tipe	Diameter dalam Shell	Ruang bebas (inchi)
R	8-13	0,100
	14-17	0,125
	18-23	0,150
	24-39	0,175
	40-54	0,225
	55-60	0,300
C	6-13	0,100
	14-17	0,125
	18-23	0,150
	24-39	0,175
	40-54	0,225
	55-60	0,300
B	6-13	0,100
	14-17	0,125
	18-23	0,150
	24-39	0,175
	40-54	0,225
	55-60	0,300
	61-69	0,300
	70-84	0,375
85-100	0,438	

Tabel 4. Standart TEMA ruang bebas antara cangkang dan sekat (Literaure. 1 Hal 124)



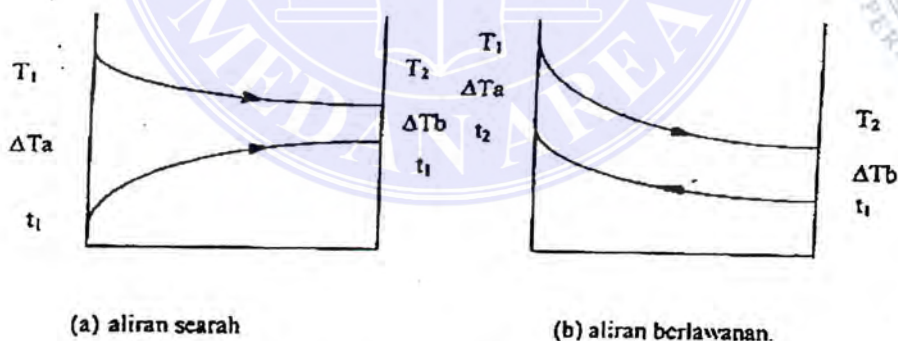
Dengan menggunakan tabel diatas, untuk alat penukar kalor tipe C dengan diameter dalam cangkang 31,5 “, maka ruang bebas antara cangkang dengan diameter sekat adalah  $0,175 \text{ “} \times 2,54 = 0,4445 \text{ mm}$ , sehingga diameter sekat adalah :  $(31,5 \text{ “} - 0,715 \text{ “}) = 31,325 \text{ “} \times 2,54 = 79,56 \text{ cm}$

### 2.5. Beda Temperatur Rata-Rata Logaritma ( $\Delta T_{RI}$ )

Seperti yang telah diterangkan sebelumnya bahwa temperatur fluida tersebut tidak tetap pada setiap keadaan, tetapi selalu ada perbedaan. Untuk menghitung beda temperatur rata-rata logaritma tersebut diperoleh dari (1) sebagai berikut :

$$\Delta T_{RI} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana untuk kasus aliran searah dan berlawanan  $\Delta T_a$  dan  $\Delta T_b$  tidak sama besarnya seperti gambar berikut ini :



Gambar 30. Distribusi Temperatur

Dimana :

$\Delta T_{RI}$  = beda temperatur rata-rata logaritma

$T_1$  = temperatur fluida masuk kedalam selongsong

$T_2$  = temperatur uap keluar selongsong

$t_1$  = temperatur fluida masuk kedalam tabung (temp. air masuk)

$t_2$  = temperatur air tabung.

Untuk aliran searah :

$$\Delta T_a = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_b = T_2 - t_2$$

Untuk aliran berlawanan :

$$\Delta T_a = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_b = T_2 - t_1$$

## 2. 6. Koefisien Perpindahan Panas Pada Bagian Dalam Tabung ( $h_i$ )

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas pada bagian dalam tabung, maa terlebih dahulu ditentukan diameter tabung, dan sifat-sifat fluida kerjanya. Untuk menghitung  $h_i$  dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut yang diperoleh dari [2], yaitu :

$$h_i = N_u \frac{K}{d_i} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$K$  = Konduktivitas termal

$d_i$  = diameter dalam tabung

$N_u$  = bilangan Nusselt

$$N_u = 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr \dots\dots\dots(2.3)$$

$Re$  = bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho V d_i}{\mu} \dots\dots\dots(2.4)$$

$\rho$  = kerapatan air pada temperatur rata-rata,  $\text{kg/m}^3$

$V$  = kecepatan aliran air dalam tabung,  $\text{m/s}$

$d_i$  = diameter dalam tabung,  $\text{m}$

$\mu$  = Viskositas air pada temperatur rata-rata,  $\text{kg/m.s}$

$Pr$  = bilangan prandalt pada temperatur rata-rata

$n$  = 0,4 untuk pemanasan

$n$  = 0,3 untuk pendinginan

## 2. 7. Koefisien Perpindahan Panas Pada Bagian Luar Tabung ( $h_o$ ).

Untuk mencari  $h_o$  dengan menghitung koefisien kondensasi karena pada dinding luar tabung terjadi pengembunan uap air menjadi kondesat. Perhitungan  $h_o$  dapat dilakukan dengan rumus berikut ini yang diperoleh dari [3] :

$$h_o = 0,725 \left\{ \frac{\rho_f^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_r^3}{\mu_f \cdot N \cdot d_o \cdot (T_g - T_w)} \right\}^{1/4} \quad (2.5)$$

Dimana :

$g$  = gravitasi,  $9,81 \text{ m/s}^2$

$h_{fg}$  = entalpi campuran air – uap,  $\text{kJ/kg}$

$N$  = jumlah tabung

$d_o$  = diameter luar tabung

$T_g$  = Temperatur uap masuk Shell,  $^{\circ}\text{C}$

$T_w$  = Temperatur dinding tabung,  $^{\circ}\text{C}$

### 3.9 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh ( $U_o$ )

Koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah merupakan kebalikan dari tahanan keseluruhan. Tahanan ini meliputi tahanan konveksi, konduksi dan tahanan akibat kotoran. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dari [5] sebagai berikut :

$$U_o = R_{fo} + \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(do/di)}{\pi KL} + \frac{1}{h_o}} + R_{fi} \quad (2.7)$$

dimana :

$R_{fo}$  = Faktor tahanan disebabkan oleh uap air diperoleh dari [6]

$$= 0,00009 \text{ m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/w}$$

$R_{fi}$  = Faktor tahanan yang disebabkan oleh air umpan ketel yang

dit

$$= 0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/w}$$

Untuk menentukan panjang tabung yang dilalui oleh fluida dingin dapat

diperoleh dari persamaan berikut ini yang diperoleh dari [7].

$$A = \frac{q}{U_o \Delta T_m} \quad (2.8)$$

dimana :

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas

$$A = \pi \cdot N \cdot d_o \cdot L$$

$N$  = Jumlah tabung

$L$  = panjang tabung

$\Delta T_m$  = selisih temperatur rata-rata sebenarnya

$$\Delta T_m = \Delta T_{RI} \cdot F$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

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)28/8/23

Maka panjang tabung adalah :

$$L = \frac{A}{\pi \cdot N \cdot d_o} \text{-----(2.9)}$$

## 2. 9. Efektivitas HPH

Pendekatan  $\Delta T_{RI}$  dalam analisa penukar kalor berguna bila temperatur masuk dan keluar dari fluida diketahui. Bila kita harus menentukan masuk dan keluar, analisa kita akan melibatkan prosedur iterasi, karena  $\Delta T_{RI}$  itu merupakan suatu fungsi logaritma. Dalam hal demikian, analisa akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode efektivitas APK. Metode ini mempunyai beberapa keuntungan untuk analisa soal-soal dimana kita harus membandingkan jenis APK yang terbaik untuk digunakan.

Untuk menghitung efektifitas ( $\epsilon$ ) digunakan persamaan berikut ini yang diperoleh dari [7]

$$\epsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor nyata}}{\text{Perpindahan Kalor maksimum yang mungkin}} \text{-----2.10)}$$

$$\epsilon = 1 - \exp^{-NTU} \text{-----(2.11)}$$

Dimana :

$$NTU = \frac{U \cdot A}{(m \cdot cp)} \text{-----(2.12)}$$

NTU = Number of transfer unit (jumlah satuan perpindahan).

## 2. 10. Penurunan Tekanan (Pressure Drop).

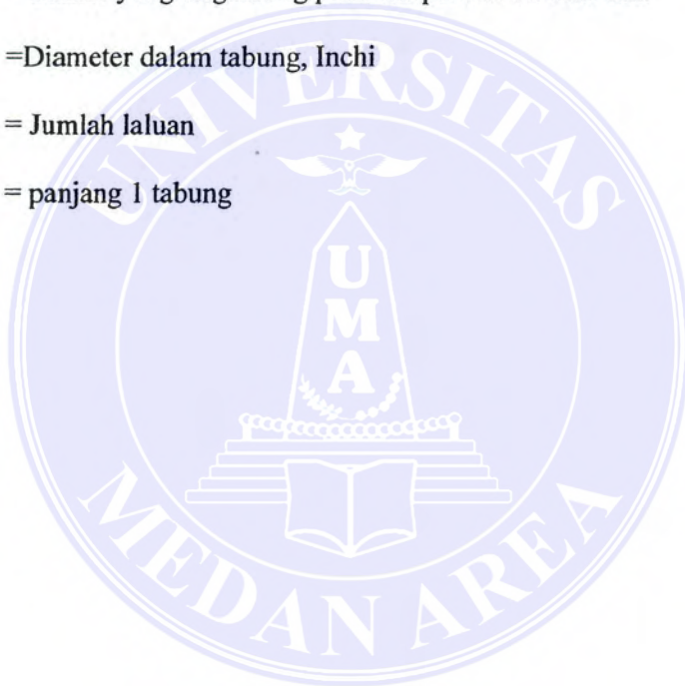
Penurunan tekanan pada pemanas air umpam ketel biasanya terjadi karena gesekan aliran pada tabung yang dipakai. Perhitungan jatuh tekanan ini sangat

penting dalam perencanaan pompa kondensat dan pompa umpan ketel. Untuk mencari jatuh tekanan pada HPH ini diperoleh dari [8] sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{F_1 \cdot F_2 (L + 5,5 di) n}{di^{1,24}} \text{-----(2.13)}$$

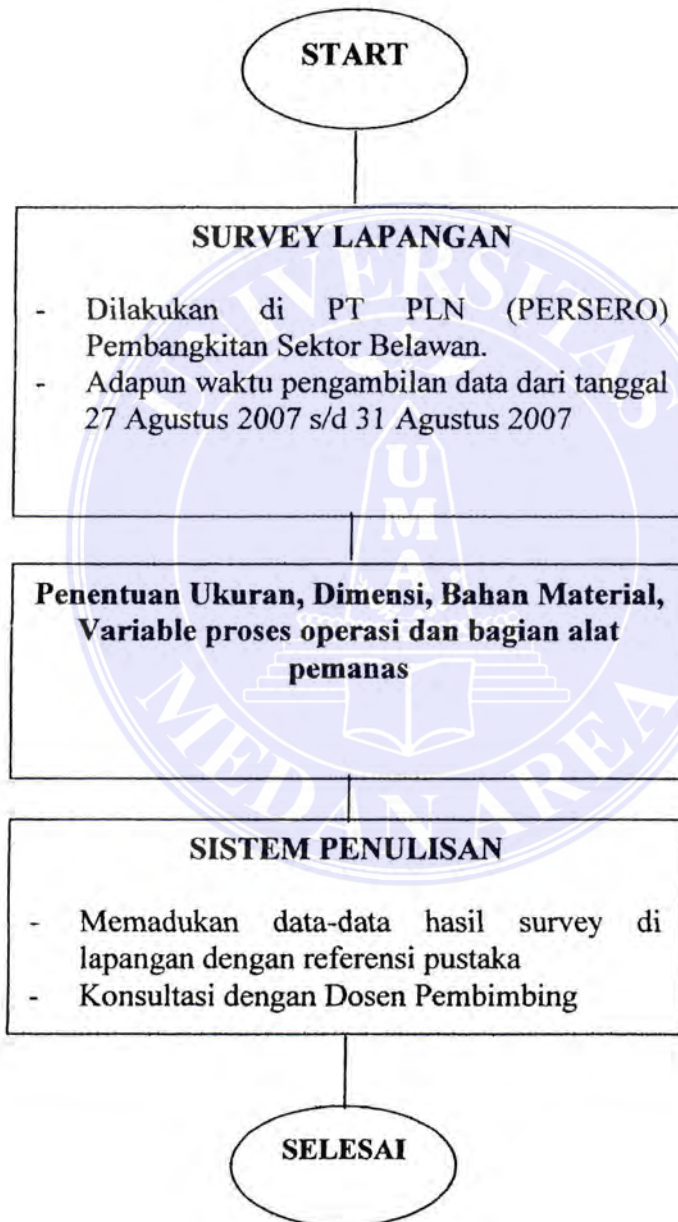
Dimana :

- $\Delta P$  = Jatuh tekanan total pada sisi tabung, Psi  
 $F_1$  = Faktor yang tergantung pada kecepatan air  
 $F_2$  = Faktor yang tergantung pada temperatur air rata-rata  
 $di$  =Diameter dalam tabung, Inchi  
 $n$  = Jumlah laluan  
 $L$  = panjang l tabung



### BAB III

## KERANGKA KONSEPTUAL



## **1. Start**

Pembuatan proposal/outline Tugas Akhir dengan Judul " Alat Pemanas Tekanan Tinggi Pada Sistem Air Pengisi Ketel Uap Dengan Memanfaatkan Uap Bekas Pemutar Turbin" sebagai topik/masalah yang akan diangkat sebagai Tugas Akhir.

## **2. Survey Lapangan**

Survey langsung dilapangan yang dilakukan di PLN Sektor Belawan Sebagai pembanding dengan data-data yang ada dalam buku-buku referensi dan juga untuk mengetahui secara langsung kontruksi dan cara kerja dari Alat Pemanas Tekanan Tinggi. Adapun waktu pelaksanaan pengambilan data dari tanggal 27 Agustus 2007 s/d 31 Agustus 2007, sesuai dengan surat izin yang dikeluarkan Manager Perusahaan. Dalam hal pengambilan data ini penulis didampingi oleh petugas Perusahaan yang sekaligus sebagai pembimbing.

## **3. Penentuan Ukuran, dimensi, variabel proses dari bagaian alat pemanas tekanan tinggi**

Menentukan bentuk kontruksi, variabel proses yang bekerja, tekanan kerja, laju aliran (flow), dan temperatur, bahan material, nilai konduktifitas thermal, dari bagian-bagian utama pada Alat Pemanas Tekanan Tinggi seperti shell (cangkang), tube (pipa), baffle (sekat), dan lain-lain. Disamping itu juga menerapkan rumus-rumus/perhitungan yang berkait dengan alat pemanas.



#### 4. Metode Penulisan

Setelah melakukan pengambilan data-data yang diperlukan maka penulis memadukannya dengan buku-buku pustaka yang ada sebagai pendukung teori dari kenyataan yang ada di lapangan. Dalam hal ini penulis juga selalu berdiskusi dengan dosen-dosen pembimbing untuk mendapatkan hasil tulisan yang baik. Selain itu penulis juga melengkapi karya tulis ini dengan gambar-gambar dan tabel sebagai pendukung.

#### 5. Penutup

Tugas Akhir ini dianggap selesai apabila telah diperiksa oleh dosen pembimbing dan kemudian di persentasikan kepada dosen penguji untuk dijawab dan dinyatakan lulus oleh dosen penguji dan pembeding.

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN



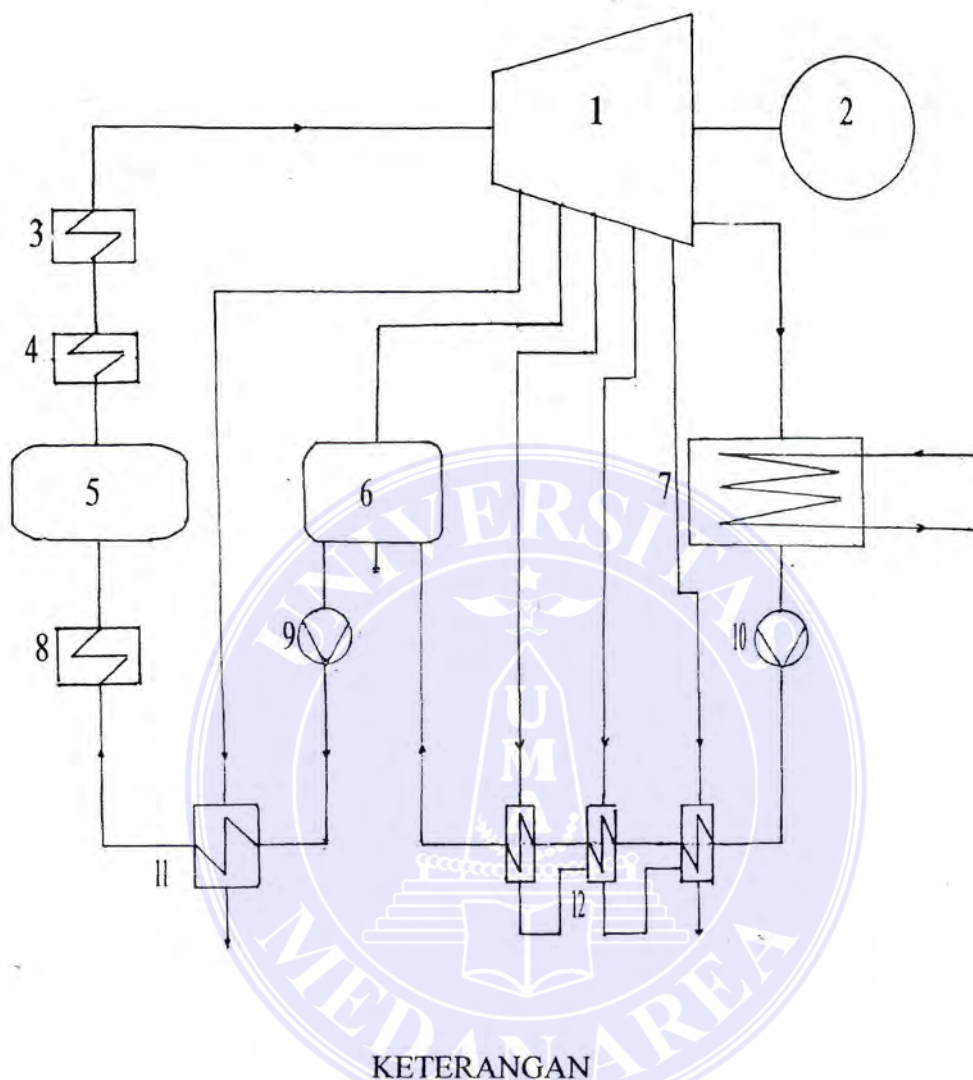
#### 4.1. Geometri Alat Pemanas Tekanan Tinggi

Dalam suatu pembangkit, aliran air dan uap di dalam boiler dan turbin berada dalam loop tertutup (air dan uap tersebut digunakan secara (berulang-ulang). Hal ini dilakukan untuk menaikkan Efisiensi dari suatu pembangkit. Ada pun setelah uap meninggalkan turbin uap tersebut sebagian dikondensasikan didalam kondensor dan sebagian lagi digunakan sebagai pemanas untuk menaikkan suhu air dari kondensor ke boiler drum. Adapun alat-alat pemanas tersebut diantaranya LPH,FWT,HPH dan Ekonomiser.

Dalam usaha untuk menaikkan suhu air pengisi keluar dari kondensor digunakan media pemanas antara lain :

- Uap pengambilan dari turbin (Extraction)
- Uap bantu (Auxilliary Steam)

Gambar dibawah ini memperlihatkan aliran uap dan air dari pengambilan turbin (Extraction)



- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Turbin          | 7. Kondesor           |
| 2. Generator       | 8. Ekonomiser         |
| 3. Super heater 1  | 9. Boiler Feerd Pump  |
| 4. Super heater 2  | 10. Condensat Pump    |
| 5. Boiler Drum     | 11. High Super heater |
| 6. Feed Water Tank | 12. Low Super heater  |

#### 4.2. Tabel Schedule Riset

No	Waktu	Kegiatan	Tempat	Keterangan
1	27-8-2007	- Pengarahan dari petugas yang ditunjuk perusahaan  - Site Visit	Ruang tamu perusahaan  Areal PLTU Unit 3 dan 4	Tentang tata cara memasuki areal pembangkit, alat-alat safety yang digunakan dan tata cara penanggulangan bahaya.  Penggarahan tentang pembangkit listrik tenaga uap dan bagian-bagian utamanya serta alat-alat pendukungnya
2	28-08-2007	- Peninjauan titik lokasi peralatan yang di survey	Areal PLTU unit 3	Penjelasan tentang fungsi cara kerja dan efesiensi yang di dapat peralatan tersebut
3	29-08-2007	- Penentuan ukuran, dimensi, bahan material yang digunakan, kapasitas dan variabel objek survey	Areal PLTU dan ruang perpustakaan	Mengamati kerja alat ukur yang ada dan mempelajari manual book untuk mendapatkan data-data yang di perlukan
4	30-08-2007	- Penentuan ukuran, dimensi, bahan material yang digunakan, kapasitas dan variabel objek survey	Areal PLTU dan ruang perpustakaan	Mengamati kerja alat ukur yang ada dan mempelajari manual book untuk mendapatkan data-data yang di perlukan
5	31-08-2007	- Mempelajari cara kerja dan pemeliharaan peralatan	Ruang kontrol PLTU Unit 3 dan 4	Mengamati petugas menjalankan sistem operasi dan membaca gambar single line diagram

## BAB VIII

### KESIMPULAN

Adapun dari hasil riset yang diambil dan setelah dipadukan dengan buku-buku pustaka maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Masalah yang sering terjadi pada alat pemanas tekanan tinggi adalah terjadinya pengotoran pada dinding pipa sebelah dalam sehingga menghambat proses perpindahan kalor dan juga mengurangi laju aliran (flow) fluida.
2. Temperatur dan tekanan uap yang masuk ke dalam HPH sangat mempengaruhi untuk kerja dari HPH. Temperatur pemanas yang terlalu tinggi akan mempercepat proses pembentukan kerak pada dinding pipa sebelah dalam.
3. Kurang efektifnya unjuk kerja dari alat pemanas tekanan tinggi ini pada akhirnya akan mengurangi kinerja unit.

Dari hasil survey di lapangan didapat data sebagai berikut :

#### 1. Tipe HPH yang dipergunakan adalah tipe V

Lintasan fluida pada HPH : 1-2 halaman

#### 2. Kapasitas HPH

Kapasitas air masuk tabung  $m_{air} = 233,65$  ton air / jam

Kapasitas uap masuk selongsong  $m_{uap} = 220,608$  ton uap/jam

Kapasitas yang dilepas uap,  $a_{uap} = 10810,86$  kw

#### 3. Tabung (tube)

Bahan tabung : Alloy steel BA 213 T21, BWG 16

Diameter luar tabung :  $2,54 \cdot 10^{-2}$  m

Diameter dalam tabung	: $2,21.10^{-2}$
Tebal tabung	: $1,65.10^{-3}$
Susunan tabung	: Bujur sangkar
Jumlah Tabung	: 310 Buah Tabung
Laluan pada tabung	: 2 laluan

#### 4. Pelat tabung (tube sheet)

Bahan pelat tabung	: Alloy steel SA 204 B
Tebal pelat tabung	: 0,127 m
Diameter pelat tabung	: 0,90 m

#### 5. Sekat (Baffle)

Bahan Sekat	: Alloy steel SA 213 T 21
Jarak antara sekat	: 0,5 m
Jumlah Sekat	: 12 Buah sekat
Baffle of cut	: 27 %
Diameter sekat	: 0,8952 m

#### 6. Selongsong (shell)

Diameter dalam selongsong	: 0,90 m
Diameter luar selongsong	: 0,944 m
Tebal selongsong	: 0,022 m

#### 7. Nozel

##### a. Pada Fluida dingin (air)

Diameter luar	: 0,16 m
Diameter dalam	: 0,14 m

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

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

Access From (Repository.uma.ac.id)28/8/23

Tebal nozel : 0,20

b. *Pada fluida panas (uap)*

Diameter luar : 0,22 m

Diameter dalam : 0,20 m

Tebal nozel : 0,02 m



## DAFTAR PUSTAKA

1. Ir. Tunggul M. Sitompul, SE, Msc, 1993, "Alat Penukar Kalor", PT. Raja Grafindo Persada.
2. Arko Prijono, 1986, "Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas", Edisi Ke- 3 Erlangga.
3. Design Manual, "High Pressure Heater", PT. PLN. ( Persero ) Belawan, PLTU Unit 3 dan 4 2 x 65 MW.
4. Thermodynamic Properties of Water and Steam, PT. PLN ( Persero ) Udiklat Suralaya, Tabel Uap.
5. Raswari, 1991, "Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan", Universitas Indonesia Press.
6. Frank Keith, 1986, "Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas", Erlangga.
7. Frank. P. Incovera, 1981, "Fundamental of Heat Transfer", John Wiley and Sons. Inc.
8. J. P Holman, 1984, "Perpindahan Kalor", Edisi Ke- 5 Erlangga.
9. Mc Cade, Warrant cs, 1991, "Operasi Teknik Kimia", Erlangga.
10. Van Vlack, Lawrenc. H, 1992, "Ilmu dan Teknologi Bahan", Erlangga.
11. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association ( TEMA Standards ), 1988, by Richard C Byrne, New York.
12. American Society of Mechanical Engineers ( ASME ) Code, Section VIII, 1989, ' Ruller for Contruction of Pressure Vessels ', Division I, Edition.
13. Ernest E. Ludwig, 1965, "Applied Process Volume III", Gulf Publishing