

**PERANCANGAN ALAT PENUKAR KALOR
TIPE SHELL AND TUBE
PENDINGINAN MINYAK PELUMAS
DENGAN MENGGUNAKAN FLUIDA AIR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh :

HENDRA NASUTION
NIM: 05 813 0024



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

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 (repository.uma.ac.id)14/9/23

Document Accepted 14/9/23

Intisari

Penukar kalor (heat exchanger) merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk memanfaatkan energi terbuang dari industri. Salah satunya adalah penukar kalor tipe pipa ganda. Penukar kalor *double pipe* pada prinsipnya terbuat dari dua buah pipa yang disusun sejajar. Dimana pipa dengan diameter lebih kecil berada di dalam pipa yang diameternya lebih besar. Alat penukar kalor ini menggunakan fluida panas gas buang motor bakar dan fluida dingin air dengan sifat aliran berlawanan.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar efektifitas kinerja dari penukar kalor yang telah dirancang. Laju aliran air masuk alat penukar kalor sebesar 0,01364 [kg/s], laju aliran gas sebesar 0,0185 [kg/s]. Pada sisi pipa, koefisien konveksi sebesar 68,45 [W/m²C], dan koefisien konveksi pada sisi annulus sebesar 23,09 [W/m²C]. Maka dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh efektifitas alat penukar kalor sebesar 59,4 %.

Kata kunci : penukar kalor, pipa ganda, gas buang, air, efektifitas.

Abstract

Heat exchanger is one of the equipments used to exploit the waste energy from industrial applications. One of them is the double pipe heat exchanger. The double pipe heat exchanger, in principle, made from two pipes are arranged in parallel. Where pipe with smaller diameter is in the pipeline that has a larger diameter. This heat exchanger using exhaust gas of motor feul as hot fluid and water as cold fluid in the different flow.

This final task was to find out the effectivity of heat exchanger which have been designed. Accelerate current of water enter the heat exchanger is equal to 0,01364 [kg/s], accelerate current of gas equal to 0,0185 [kg/s]. In the pipe side, convection coefficient equal to 68,45 [W/m²⁰C], and convection coefficient in annulus side equal to 23,09 [W/m²⁰C]. So from the equation, got the effectivity performance of the heat exchanger is 59,4 %.

Keywords: heat exchanger, double pipe,exhaust gas, water, effectivity.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
KATA PENGANTARi
DAFTAR ISIiii
DAFTAR GAMBARvi
DAFTAR TABELvii
BAB I PENDAHULUAN.....1
1.1. Latar Belakang1
1.2. Batasan Masalah.....5
1.3. Manfaat Penulisan5
1.4. Metode Pengumpulan Data6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA7
2.1. Pandangan Umum tentang Alat Penukar Kalor7
2.2. Jenis-jenis Alat Penukar Kalor8
2.2.1. Chiller9
2.2.2. Condensor9
2.2.3. Cooler10
2.2.4. Heat Exchanger11
2.2.5. Reboiler11
2.2.6. Heater12
2.2.7. Superheater13
2.2.8. Evaporator14
2.2.9. Economizer15
2.3. Jumlah Pass atau Lintasan pada Alat Penukar Kalor15
2.3.1 Alat Penukar Kalor 1-1 Pass16

2.3.2	Alat Penukar Kalor 1-2 Pass	16
2.3.3	Alat Penukar Kalor 2-4 Pass	17
2.4.	Konstruksi Alat penukar Kalor.....	18
2.4.1	Shell	21
2.4.2	Tube	23
2.4.3	Baffle	29
2.5	Proses Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Kalor.....	35
2.5.1	Proses Perpindahan Panas	35
2.5.2	Perpindahan Kalor Secara Konveksi	35
2.5.3	Lapis Batas Thermal	37
2.5.4	Tekanan	38
2.5.5	Laju Perpindahan Kalor Pada Alat Penukar Kalor....	40
2.6.	Perhitungan Alat Penukar Kalor	41
2.6.1	Proses Perencanaan Alat Penukar Kalor	41
2.6.2	Selisih Temperatur Rata-rata	45
2.6.3	Laju Aliran Perpindahan Kalor	46
BAB III	ANALISIS PEMBAHASAN.....	52
3.1.	Gambar Desain Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)	52
3.1.1	Prinsip Kerja Alat Penukar Kalor	52
3.2.	Perancangan Alat Penukar Kalor.....	56
BAB IV	ANALISA DATA	62
4.1.	Data Percobaan Untuk Aliran Searah	62
4.2.	Data Percobaan Untuk Aliran Berlawanan.....	67
4.3.	Perawatan dan Perbaikan	72
4.3.1	Perawatan	72
4.3.2	Perbaikan	73

BAB V	PENUTUP	75
	5.1. Kesimpulan.....	75
	5.2. Saran.....	75

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/9/23

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penukar kalor merupakan suatu alat untuk memindahkan energi dalam bentuk panas antara 2 (dua) fluida yang berbeda suhunya. Fluida yang saling bertukar energinya tersebut dapat merupakan 2 (dua) fluida berbeda fasanya dan dapat merupakan satu jenis fluida saja.

Sesuai dengan fungsinya, alat penukar kalor diperlukan untuk sistem-sistem yang berkaitan dengan pemakaian energi, oleh karena itu pemakaian alat ini sangat luas. Di industri proses termal seperti di petrokimia, industri makanan, baja, kimia dasar, industri agro dan pembangkit energi baik dari segi jumlah maupun nilai pemakaian alat penukar kalor memegang peranan yang cukup penting. Dengan pertumbuhan di sekitar industri yang semakin cepat, kebutuhan untuk alat penukar kalor akan semakin meningkat. Oleh karena itu, penelitian pada berbagai tipe penukar kalor untuk mendapatkan suatu penukar kalor yang mempunyai prestasi kerja yang baik terus dilakukan.

Kalor mengalir dengan sendirinya dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah. Akan tetapi gaya dorong untuk aliran ini adalah perbedaan suhu. Bila sesuatu benda ingin dipanaskan, maka harus dimiliki suatu benda lain yang lebih panas, begitu juga halnya bila ingin mendinginkan sesuatu, diperlukan benda lain yang lebih dingin. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah yaitu seperti hukum asas lain, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum,

ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang kedua. Bila diperhatikan misalnya jumlah energi kalor api unggun kayu yang ditumpukan, semua ini menyimpan sejumlah energi dalam yang ditandai dengan kuantitas yang lazim disebut muatan kalor bahan. Apabila api dinyalakan, energi termal yang tersimpan di dalam bahan tadi akan bertukar menjadi energi kalor yang dapat kita rasakan.

Efektifitas dari alat penukar kalor didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan kalor nyata dengan perpindahan kalor maksimum yang mungkin terjadi. Perpindahan kalor nyata merupakan perpindahan kalor yang diterima fluida dingin. Sedangkan perpindahan kalor maksimum mungkin terjadi bila suatu fluida mengalami perbedaan suhu maksimum yang terdapat dalam alat penukar kalor tersebut, yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin. Untuk alat penukar kalor (*APK*) yang baik harus mempunyai efektifitas yang tinggi yang dipengaruhi oleh bentuk pipa, temperature dan kecepatan dari udara masuk baik dingin maupun panas serta keadaan lingkungan.

Alat Penukar Kalor banyak digunakan di berbagai industri dikarenakan mempunyai beberapa keuntungan, antara lain:

1. Konstruksi sederhana, kokoh dan aman
2. Biaya yang digunakan relatif murah
3. Kemampuannya untuk bekerja pada tekanan dan temperature yang tinggi dan tidak membutuhkan tempat yang luas.

Dikarenakan ada banyak jenis penukar kalor, maka alat penukar kalor dapat dikelompokkan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan yaitu:

1. Proses perpindahan kalornya.
2. Jumlah fluida yang mengalir.
3. Konstruksi dan pengaturan aliran.

Secara umum *Alat Penukar Kalor* dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

1. Regenerator

yaitu *Alat Penukar Kalor* dimana fluida panas dan dingin mengalir secara bergantian melalui saluran yang sama.

2. *Alat Penukar Kalor* tipe terbuka (*Open type heat exchanger*)

yaitu *Alat Penukar Kalor* dimana fluida panas dan dingin terjadi kontak secara langsung (tanpa adanya pemisah).

3. *Alat Penukar Kalor* tipe tertutup (*Close type heat exchanger*)

yaitu *heat exchanger* dimana fluida panas dan dingin tidak terjadi kontak secara langsung tetapi terpisahkan oleh dinding pipa atau suatu permukaan baik berupa dinding datar atau lengkung.

Sedangkan untuk tipe *Alat Penukar Kalor* berdasarkan aliran fluidanya dapat dikelompokkan menjadi *parallel-flow*, *counter-flow*, dan *cross-flow*. *Parallel-flow* atau aliran searah adalah apabila fluida-fluida dalam pipa *heat exchanger* mengalir secara searah, sedang *counter-flow* atau sering disebut dengan aliran yang berlawanan adalah apabila fluida-fluida dalam pipa *heat exchanger* mengalir secara berlawanan. *Cross-flow* atau sering disebut dengan aliran silang

adalah apabila fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus.

Dalam aplikasi *Alat Penukar Kalor* di lapangan banyak permasalahan yang masih ditimbulkan, misalnya panas yang ditransfer oleh *Alat Penukar Kalor* belum maksimal, terjadinya penurunan tekanan sehingga kerja pompa menjadi berat. Hal ini berindikasi pada tingginya biaya untuk listrik dan perawatan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memperluas bidang

perpindahan kalor, membuat aliran turbulen dalam pipa serta memakai bahan yang mempunyai konduktivitas yang tinggi. Untuk memperluas permukaan *Alat Penukar Kalor* ada yang dilakukan dengan memperbesar permukaan pipa bagian dalam dan ada yang dilakukan dengan penambahan sirip pada pipa bagian dalamnya yang sekaligus membentuk aliran turbulen pipa bagian luarnya. Namun adanya sirip tersebut akan menaikkan penurunan tekanan (*Pressure Drop*).

Idealnya *Alat Penukar Kalor* mempunyai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) yang tinggi sehingga mampu mentransfer kalor dengan baik dan mempunyai penurunan tekanan (ΔP) yang rendah. Hal ini menjadi masalah yang perlu dikaji lebih jauh terutama untuk memperkecil penurunan tekanan tetapi koefisien perpindahan kalornya masih tetap tinggi.

Adapun yang menjadi judul dari laporan tugas akhir ini adalah “ Rancangan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube untuk Pendinginan minyak pelumas dengan Pemanfaatan Air.”

1.2 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi pokok permasalahan dalam tugas akhir ini adalah penentuan luas permukaan yang diperlukan untuk memindahkan kalor pada laju tertentu dengan suhu zat cair dan laju aliran tertentu.

Untuk memperjelas dan menyederhanakan permasalahan ditentukan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Bagaimana memanfaatkan Air untuk mendinginkan minyak pelumas
2. Prinsip kerja Alat Penukar Kalor *shell and tube*
3. Perancangan alat penukar kalor *shell and tube*
4. Analisa biaya yang dipergunakan dalam pembuatan alat penukar kalor
5. Perawatan dan perbaikannya.

1.3 Manfaat Penulisan

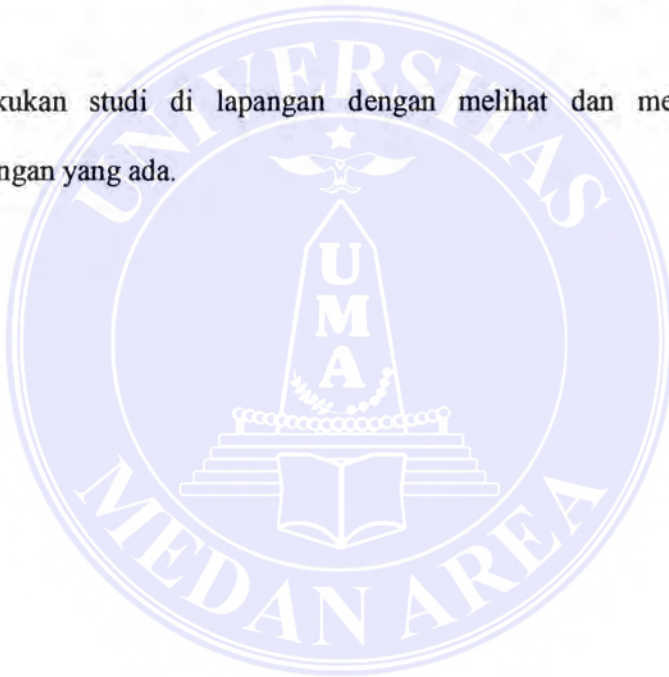
Adapun manfaat penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagi penulis, untuk memperluas wawasan ilmu pengetahuan terutama tentang perpindahan panas pada Alat Penukar Kalor (APK) Shell and Tube
2. Bisa menambah umur minyak pelumas (oli)
3. Bisa menghemat/mengurangi biaya
4. Bisa mengurangi tingkat keausan bering
5. Memperoleh gambaran keefektivitasan Alat Penukar Kalor dengan memanfaatkan Air sebagai Pendinginan Minyak Pelumas.
6. Membantu masyarakat khususnya industri yang ingin mengembangkan alat penukar kalor ini.

1.4 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data mengenai perancangan ini dengan cara:

1. Studi literatur dengan buku-buku yang ada di dalam perpustakaan maupun sumber lain yang berkaitan dengan perancangan alat tersebut;
2. Melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing yang bersangkutan maupun dengan pihak-pihak yang dapat membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang memahami dan mengerti tentang perancangan alat ini;
3. Melakukan studi di lapangan dengan melihat dan mengamati alat rancangan yang ada.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pandangan Umum Tentang Alat Penukar Kalor

Di dalam industri proses kimia masalah perpindahan panas atau energi adalah hal yang sangat banyak dilakukan. Sebagaimana diketahui bahwa panas dapat berlangsung dengan 3 cara, di mana mekanisme perpindahan panas itu sendiri berlainan adanya. Adapun perpindahan panas itu dapat dilaksanakan dengan:

1. Secara molekuler, yang disebut dengan konduksi.
2. Secara aliran yang disebut dengan perpindahan konveksi.
3. Secara gelombang elektronik yang disebut radiasi.

Khusus perpindahan panas yang dibahas dalam kasus alat penukar kalor (APK) di sini menyangkut butir 1 dan 2 yaitu secara konduksi dan konveksi. APK merupakan suatu peralatan di mana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Maksudnya ialah:

1. Alat Penukar Kalor yang langsung, di mana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruang tertentu.
2. Alat Penukar Kalor yang tidak langsung, di mana fluida tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi

proses perpindahan panas itu mempunyai media perantara. Seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya.

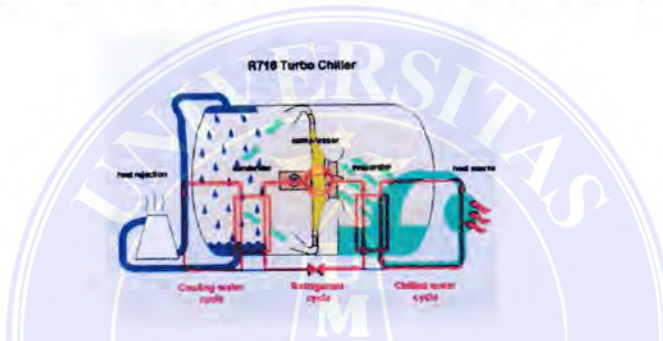
Peralatan yang masuk pada kelompok pertama (langsung) adalah Jet Condensor, pesawat desuperheater pada ketel (*water injection desuperheater*), pesawat daerator yaitu antara air ketel dengan uap yang diinjeksikan dan lain-lain. Sedang pada posisi pada jenis kedua (tidak langsung) adalah condenser pada turbin uap, pesawat pemanas uap lanjut pada ketel (antara uap basah dengan gas asap panas pembakaran), pemanas air pendahuluan pada ketel (ekonomiser), pemanas udara pembakaran (air preheater) dan lain-lain. Peningkatan biaya operasi pada suatu industri, dimana salah satu penyebabnya adalah kebutuhan akan energi yang semakin meningkat, maka dewasa ini para pengusaha atau pemimpin perusahaan semakin menggalakkan penghematan energi, atau sering disebut dengan istilah *energy saving*. Salah satu kegiatan dalam penghematan energi adalah mempergunakan kembali energi yang tersisa, yang selama ini dibuang terus keudara. Kita semakin banyak mendengar *waste-heat boiler* yaitu ketel atau pembangkit uap yang menggunakan panas dari gas asap untuk membangkitkan uapnya, atau dari jenis peralatan lain yang masuk pada kelompok *heat recovery equipment* (peralatan untuk memanfaatkan kembali panas).

2.2 Jenis-jenis Alat Penukar Kalor

Ada banyak peralatan-peralatan yang mempergunakan pipa (tubular equipment) dalam alat penukar kalor, maka untuk mencegah timbulnya kesimpangsiuran pengertian, perlu diberikan pengelompokan peralatan itu berdasarkan fungsinya. Adapun pengelompokan itu adalah sebagai berikut:

2.2.1 Chiller

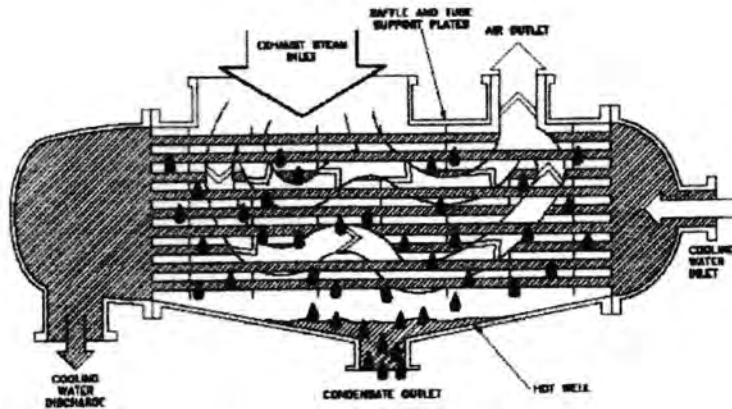
Alat penukar kalor ini dipergunakan untuk mendinginkan fluida sampai pada temperatur yang rendah. Temperatur pendingin di dalam *chiller* jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan pendinginan yang dilakukan dengan pendingin air. Untuk *chiller* ini, media pendingin dipergunakan adalah amoniak atau *Freon*.



Gambar 2.1 Chiller

2.2.2 Condensor

Alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan atau mengembunkan uap atau campuran uap sehingga berubah fase menjadi cairan. Media pendingin biasanya dipakai air, uap atau campuran itu akan melepas panas *latent* kepada pendingin. Misalnya, Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang menggunakan *condensing turbin*, maka uap bekas dari turbin akan dimasukkan kembali kedalam kondensor. Lalu diembunkan menjadi *kondensat*. Media pendingin yang digunakan adalah air sungai atau air laut dengan suhu udara laut.



Gambar 2.2 Condensor

2.2.3 Cooler

Alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan (menurunkan suhu) cairan atau gas dengan mempergunakan air sebagai media pendingin. Disini tidak dipermasalahkan perubahan fase seperti pada *condenser*. Dengan perkembangan teknologi dewasa ini maka pendingin *cooler* dipergunakan udara, dengan bantuan *fan* (kipas). Ini mempunyai keuntungan disbanding dengan *cooler* yang mempergunakan air sebagai media pendingin.



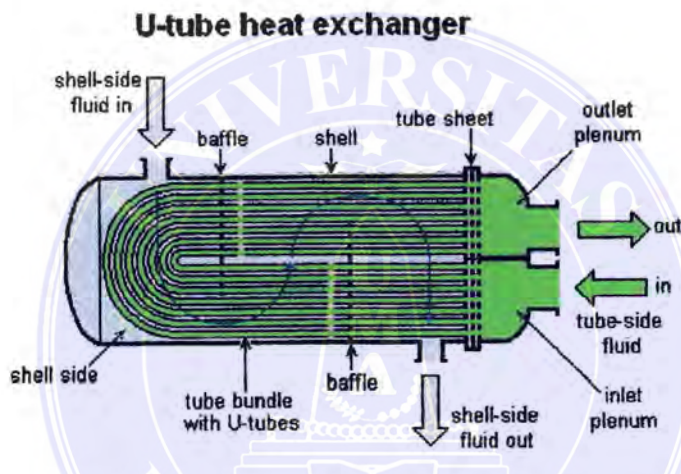
Gambar 2.3 Cooler

2.2.4 Heat Exchanger

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida untuk pemanasan fluida yang lain maka terjadi dua fungsi sekaligus yaitu:

- a. Memanaskan fluida yang dingin;
- b. Mendinginkan fluida yang panas.

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

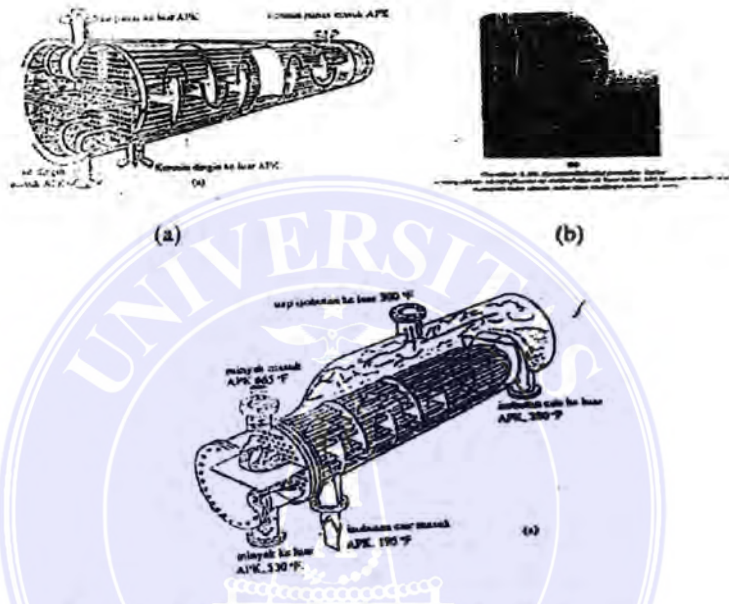


Gambar 2.4 Heat Exchanger

2.2.5 Reboiler

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk mendidihkan kalor kembali (*reboil*) serta mempergunakan sebagai cairan yang diproses. Adapun media pemanas 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/colom destilasi* penyulingan minyak. Di perlihatkan sebuah reboiler, dalam mempergunakan minyak (660°F) sebagai media penguap, minyak tersebut akan keluar dari boiler dengan suhu 350°F. Minyak mengalir pada pipa dan media yang diuapkan kembali (*reboil*) berada

diluar pipa (*shell and tube*). Media yang akan diuapkan tersebut (isobutan cair), masuk pada suhu 195°F dan keluar pada suhu 200°F, selama didalam reboiler terjadi penguapan isobuton.



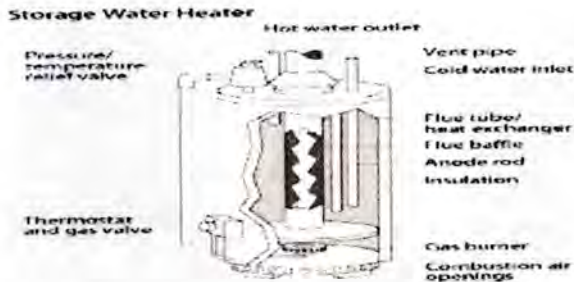
Gambar 2.5 Konstruksi Alat Penukar Kalor

(a) Menunjukkan aliran di dalam dan di luar tube, (b) Bentuk masih utuh nampak tube sheet, pipa dan cangkangnya menjadi satu, (c) Reboiler

2.2.6 Heater

Alat penukar kalor ini bertujuan memanaskan atau menaikkan suhu suatu proses fluida. Umumnya zat pemanas yang dipergunakan adalah uap atau fluida panas yang lain. Contohnya *heater* (pemanas) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dimana sebahagian uap dicerat (*extraction turbine*) dimasukkan kedalam heater air pengisi ketel, maka suhu air pengisi ketel semakin tinggi, saat mencapai

drum uap ketel. Disini uap yang dicerat itu melepas sensible heat menjadi kondensat.



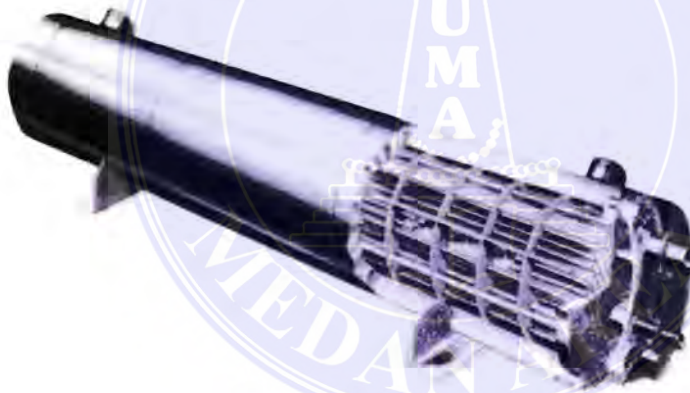
Gambar 2.6 Heater

2.2.7 Superheater

Alat penukar kalor ini dipergunakan untuk mengubah uap basah (*saturated steam*) pada pembangkit uap, menjadi uap kering (*super heated steam*). Proses ini terjadi dalam ketel sendiri, sebab *superheater* itu terjadi dalam ketelnya. Proses perpindahan panas yang terjadi bias secara konveksi dan radiasi. Uap basah berada di dalam pipa dan gas pemanas diluar pipa. Kedua jenis superheater ini mempunyai karakteristik yang berbeda. Biasanya yang dipergunakan adalah kombinasi dari kedua-duanya. Sumber panas yang dipergunakan adalah panas yang diperoleh dari pembakaran bahan baker dari dapur ketel atau panas gas asap pembakaran.

2.2.9 Economizer

Economizer atau pemanas air pengisi ketel bertujuan untuk menaikkan suhu air pengisi ketel (*feed water*) sebelum air masuk ke dalam drum uap. Maksud pemanasan ini adalah untuk meringankan beban ketel. Konstruksinya terdiri dari pipa-pipa yang disusun sedemikian rupa, airnya berada dalam pipa dan pemanasnya adalah pembakaran gas asap hasil pembakaran bahan bakar dalam dapur ketel. Konstruksi terdiri dari pipa-pipa yang disusun sedemikian rupa, air berada dalam pipa dan pemanasnya diluar pipa. Perpindahan panas terjadi secara konveksi dan konduksi, media pemanas adalah pembakaran gas asap hasil pembakaran bahan bakar dalam dapur ketel.



Gambar 2.9 Ekonomiser

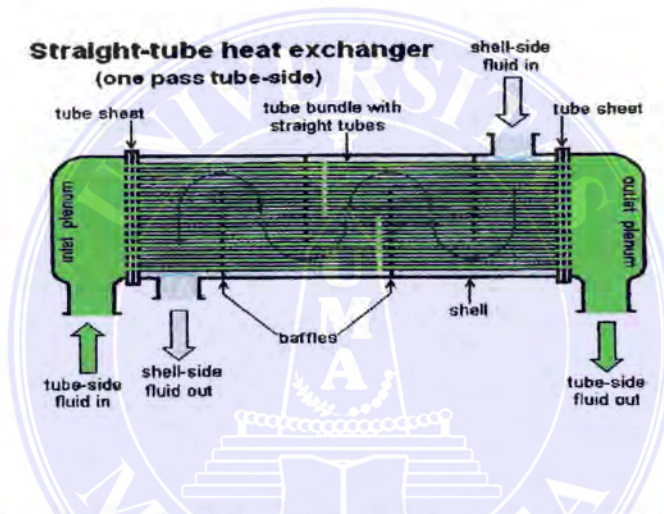
2.3 Jumlah Pass atau Lintasan pada Alat Penukar Kalor

Pass pada alat penukar kalor ialah lintasan yang dilalui oleh fluida di dalam *shell* pada *tube bundel*. *Pass shell* ialah lintasan yang dilalui oleh fluida sejak masuk, mulai saluran masuk (*inlet nozzle*), melewati bagian dalam shell dan mengelilingi tube, keluar dari saluran buang (*outlet nozzle*). Apabila lintasan itu

dilakukan 1 kali maka disebut 1 *pass shell*, kalau terjadi 2 kali atau n kali melintasi bagian dalam serta melalui tube disebut 2 atau n *pass shell*.

2.2.1 Alat Penukar Kalor 1-1 Pass

Alat penukar kalor (APK) 1-1 pass adalah aliran fluida yang mengalir dalam shell 1 pass dan aliran fluida yang mengalir dalam tube 1 pass juga. Secara sederhana konstruksi tampak pada gambar di bawah ini:

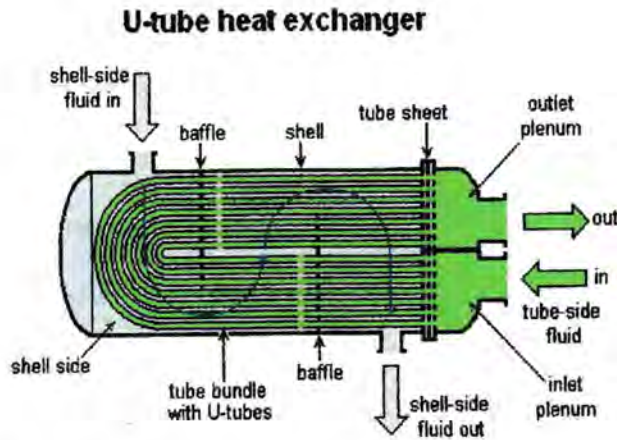


Gambar. 2.10. Alat Penukar Kalor 1-1 pass, dan arah aliran yang berlawanan

A-Annulus (*shell*), B-Tubes, C-Sekat (*baffle*), D adalah pelat tubes

2.3.2 Alat Penukar Kalor 1-2 Pass

Alat penukar kalor (APK) 1-2 pass adalah aliran sebelah *shell* dengan mempergunakan sekat (*baffle*).



Gambar. 2.11. Alat Penukar Kalor 1-2 *pass* dengan *counter-parallel flow floating head*

2.3.3 Alat Penukar Kalor 2-4 *pass*

Alat Penukar Kalor 2-4 *pass* ini terdiri dari 2 *pass* aliran *shell* dan 4 *pass* aliran pada sisi *tube*. Pada gambar memperlihatkan distribusi temperatur panjang (luas) tube alat penukar kalor dengan 2-4 *pass*.

Pada alat penukar kalor dengan *multipass* ini terdapat pengurangan luas penampang lintasan aliran, sedangkan kecepatan aliran fluida semakin bertambah besar dan perpindahan panasnya semakin meningkat.

Kekurangan alat penukar kalor *multipass* ini adalah:

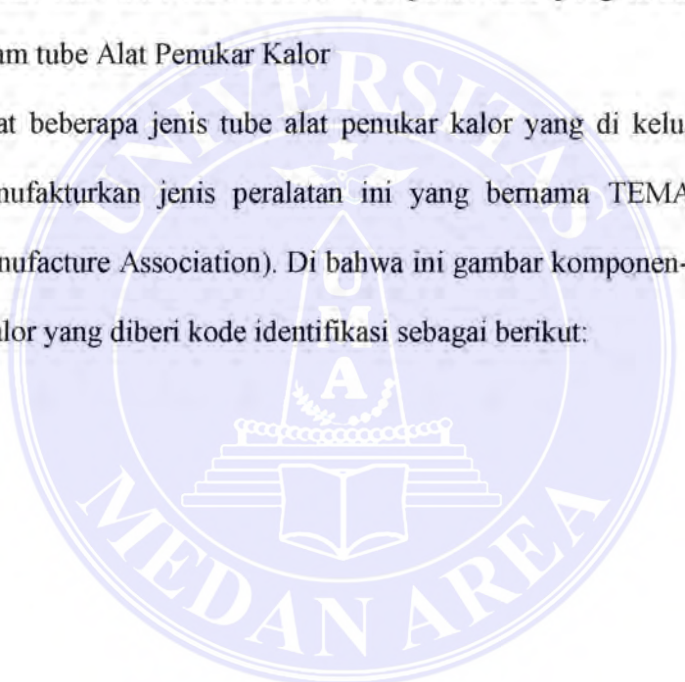
- a. Konstruksi semakin kompleks;
- b. Kerugian gesekan semakin besar, sebab semakin banyak *pass* aliran pada sisi sebelah *tubes*, akan semakin besar pula kerugian akibat aliran masuk dan keluar *tubes* (*exit and entrance losses*).



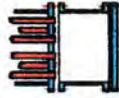


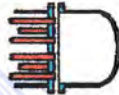
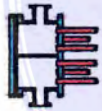

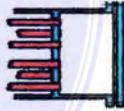

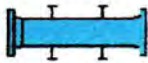
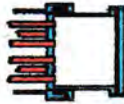
2.4 Konstruksi Alat Penukar Kalor







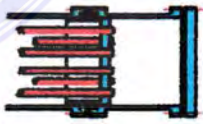
Ditinjau dari konstruksi alat penukar kalor jenis shell and tube, maka secara umum dapat dikatakan, konstruksinya dari 4 bagian utama, yaitu:

- 1) Bagian depan yang tetap atau *Front Head Statinary Head*
- 2) Shell atau badan alat penukar kalor
- 3) Bagian ujung belakang atau *Rear End Head*
- 4) Berkas tube atau tube-bundle. Kumpulan tube yang dimasukkan ke dalam tube Alat Penukar Kalor

Terdapat beberapa jenis tube alat penukar kalor yang di keluarkan oleh asosiasi pamanufakturkan jenis peralatan ini yang bernama TEMA (Tubular Exchanger Manufacture Association). Di bahwa ini gambar komponen-komponen alat penukar kalor yang diberi kode identifikasi sebagai berikut:



Front End Stationary Head		Shell Type		Rear End Stationary Head	
					
A	CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E	ONE PASS SHELL	L	FIXED TUBESHEET, LIKE 'A' STATIONARY HEAD
					
B	BONNET (INTEGRAL COVER)	F	TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M	FIXED TUBESHEET, LIKE 'B' STATIONARY HEAD
					
C	CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER Shown: Removable Tube Bundle only	G	SPLIT FLOW	N	FIXED TUBESHEET, LIKE 'C' STATIONARY HEAD
					
C	CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE	H	DOUBLE SPLIT FLOW	P	OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD

	COVER Shown: Fixed Tube sheet only				
					
D	SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	J	DIVIDED FLOW	S	FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE (SPLIT RING)
					
		K	KETTLE TYPE REBOILER	T	PULL THROUGH FLOATING HEAD
					
				U	U-TUBE BUNDLE
					
				W	PACKED FLOATING TUBE SHEET WITH LANTERN RING

Gambar 2.12 Bagian-bagian dari Alat Penukar Kalor (Berdasarkan Standar TEMA)

2.4.1 Shell

Shell adalah bagian utama alat penukar kalor dan merupakan rumah untuk bundel pipa. Antara *shell* dan *bundel tube* terdapat fluida yang menerima atau melepas panas. Sesuai dengan proses yang terjadi. Secara umum jenis *shell* yang banyak digunakan adalah jenis satu pass. *Shell* dua pass dipergunakan apabila perbedaan temperatur pada *shell* dan *tube* (*temperature driving force*) tidak dapat diatasi pada jenis satu pass.

Pertimbangan untuk memilih aliran yang dibelah dan aliran yang dibagi (*split and divided flow*) ialah aliran untuk mengurangi penurunan tekanan (*pressure drop*) sisi *shell*, sebab (*pressure drop*) merupakan faktor kontrol pada perencanaan dan operasi alat penukar kalor.

Ada tiga jenis bentuk-bentuk *shell*, tergantung dengan pelat *tube* (*tube sheet*) yaitu:

1. *Shell* dengan pelat *tube* tetap (*fixed tube sheet*);
2. *Shell* dengan pelat *tube* yang bisa dilepas (*removable tube sheet*);
3. *Shell* dengan pelat *tube* tetap yang bisa dilepas (*fixed or removable tube sheet*).

Dari segi pembuatannya *shell* dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. *Shell* yang dibuat dari *tube* (*pipe shell*);
2. *Shell* yang dibuat dari pelat (*plat shell*).

Shell yang berukuran besar dibuat dari pelat yang dirol dan dilas sedangkan untuk ukuran yang kecil dibuat dari *tube* yang standart.

Bentuk aliran fluida dalam *shell* and *tube*



Bentuk aliran fluida dalam shell ada 2 macam dengan alat penukar kalor, yaitu:

- a. Aliran fluida yang mengalir melalui tube (tube side), dimana fluida tersebut berada di dalam tube.
- b. Aliran fluida dalam shell (shell side), dimana fluida berada di luar tube atau di dalam shell.

Aliran fluida dalam tube, akan mengalami 3 hal, yaitu;

- a. Kontraksi atau penyempitan aliran, yaitu pada saat fluida akan masuk ke dalam tube.
- b. Ekspansi dan penyebaran, yang dialami saat fluida keluar dari tube,
- c. Pembelokkan arah aliran, dimana terjadi perubahan pass(dari satu pass ke pass yang lain).

Sedangkan fluida yang berada dalam shell mengalami perubahan, yaitu:

- a. Aliran aksial, aliran yang sejajar dengan tube bundle,
- b. Aliran melintang (cross flow) yang menyeberangi tube bundle, di antara sekat (baffle) yang dipasang.

2.4.2 Tube

Tube dapat dikatakan sebagai urat nadi alat penukar kalor. Di dalam dan di luar tube mengalir fluida. Kedua jenis fluida ini mempunyai kapasitas, temperature, tekanan, density, serta jenis yang berbeda.

Kedua ujung dari pipa diikat pada *tube sheet*. Ini untuk mencegah kebocoran fluida yang mengakibatkan fluida terkontaminasi. Khusus pada penukar kalor dengan pipa U, pipanya dibengkokkan sesuai dengan jari-jari yang diijinkan. Untuk mencegah terjadinya getaran maka pipa itu ditahan (*support*) dengan sekat (*baffle*).

Jadi, sekat ini berperan ganda, sebagai penahan pipa dan pembelokan arah aliran fluida. *Tube* juga harus mampu memindahkan fluida panas antara fluida dalam pipa dengan luar pipa.

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi adalah:

1. Kemampuan memindahkan panas yang tinggi;
2. Daya tahan terhadap panas;
3. Daya tahan terhadap korosi;
4. Daya tahan terhadap erosi;
5. Mampu untuk dibentuk dengan proses dingin atau panas;
6. Mempunyai sifat plastis yang baik.

Jenis bahan yang digunakan untuk pipa, antara lain, baja karbon, baja campuran rendah, baja campuran tinggi, baja nikel, baja campuran nikel, aluminium dan campuran aluminium, tembaga dan campuran tembaga, dan lain-lain.

Pemilihan jenis bahan dan ukuran pipa didasarkan pada:

1. Besarnya aliran fluida;
2. Temperatur;
3. Tekanan;
4. *Korosive* atau tidak;
5. Sistem serta periode pemeliharaan;
6. *Fouling* atau tidak.

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

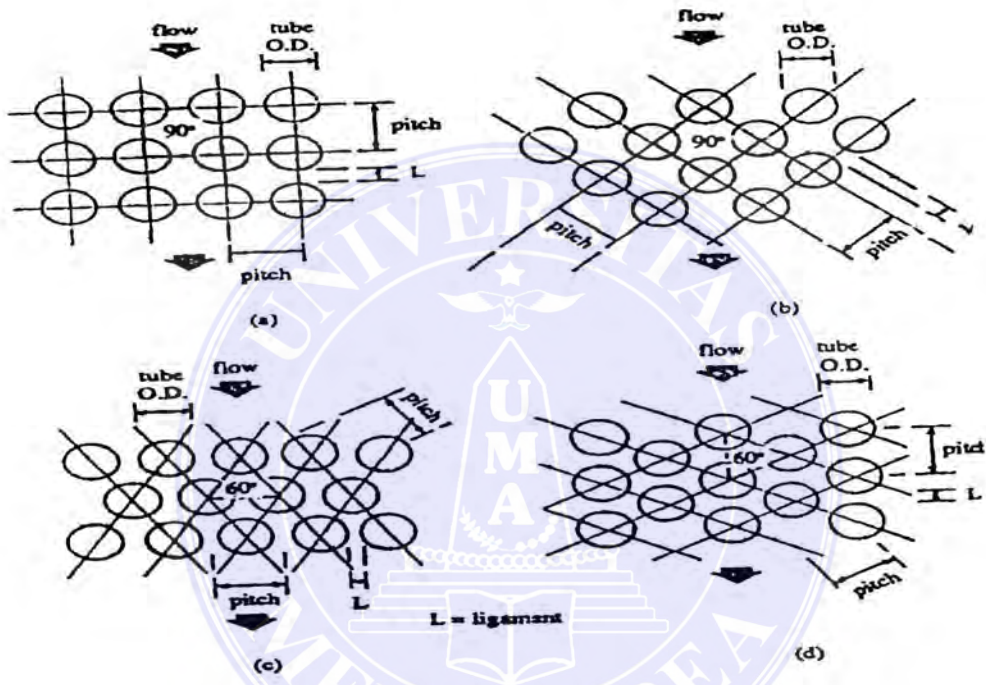
1. Besarnya penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi;
2. Aliran fluida luar *tubes*, laminar atau turbulen;
3. *Fouling* atau *non-fouling* fluida yang mengalir diluar *tubes*;
4. Cara yang dilakukan untuk pembersihan bagian luar *tubes* secara mekanika (*mechanical cleaning*).

1. Tipe Susunan Tube

Kemampuan melepas atau menerima panas suatu alat penukar kalor dipengaruhi oleh besarnya luas permukaan (*heating surface*). Besarnya luas permukaan itu tergantung dari panjang, ukuran dan jumlah tubes yang dipergunakan pada alat penukar kalor itu. Susunan *tubes* itu mempengaruhi besarnya penurunan tekanan aliran fluida dalam *shell*. Susunan *tubes* alat penukar kalor yakni:

1. *Tube* dengan susunan segitiga (*triangular pitch*);
2. *Tube* dengan susunan bujur sangkar (*in-line square pitch*);

3. Tube dengan susunan berbentuk belah ketupat, atau bentuk bujur sangkar yang diputar 45 (*square pitch rotated*).
4. tube dengan susunan berbentuk belah ketupat, atau bujur sangkar yang diputar 45° (*diamond square pitch*).



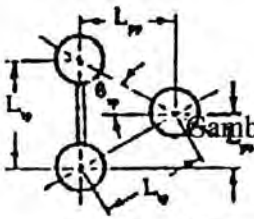
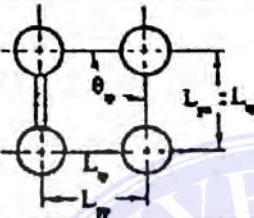
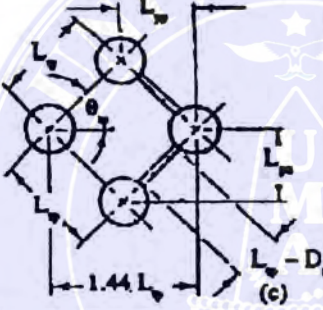
Gambar 2.13 Tipe Susunan Tube

(a) Tube dengan susunan bujur sangkar (*in-line square pitch*); (b). Tube dengan susunan berbentuk belah ketupat, atau bentuk bujur sangkar yang diputar 45 (*square pitch rotated*). (c). Tubes dengan susunan segitiga (*triangular pitch*), (d). Susunan tube segitiga diputar (*in-line triangular*).

Besarnya penurunan tekanan yang terjadi kurang lebih sama dengan susunan pipa segitiga. Susunan tube bujur sangkar membentuk sudut 90° (*in-line square pitch*) banyak dipergunakan, dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. apabila penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi pada alat penukar kalor itu sangat kecil.
- b. Apabila pembersihan yang kita lakukan pada bagian luar tube adalah dengan cara pembersihan mekanik (*mechanical cleaning*). Sebab pada susunan seperti ini, terdapatlah celah antara tube yang mempergunakan untuk pembersihnya.
- c. Susunan ini memberikan perilaku yang baik, bila terjadi aliran turbulen, tetapi untuk aliran laminar akan menghilangkan hasil yang kurang baik.

Ditinjau dari segi perpindahan panasnya, maka susunan ini mempunyai koefisien perpindahan panas yang lebih kecil dari susunan tube sebelumnya. Susunana tube yang membentuk 45^0 atau susunan belah kutupan (*damond square pitch*). Seperti 2.14 di bawah in merupakan jenis kondisi menengah. Jens ini baik dipergunakan pada kondisi operasi yang penurunan tekana kecil, tetapi lebih besar dari penurunan tekanan bujur sangkar. Pembersiha bagian luar tube dlakukan dengan pembersihan mekanik, seperti pada bujur sangkar. Susunan. Susunan tube ini relative lebih baik dibandingkan susunan tube yang membentuk 30^0 terhadap aliran (jenis segitiga).

Aliran \longrightarrow	θ_s	L_m	L_w
 <p>(a)</p>	30°	0.5 L_w	0.866 L_w
 <p>(b)</p>	90°	L_w	L_w
 <p>(c)</p>	45°	0.707 L_w	0.707 L_w

Gambar 2.14 Jenis aliran counter flow

2. Pemilihan Tube

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada pemilihan susunan tube alat penukar kalor ialah:

- Besarnya penurunan tekana (*pressure drop*) yang terjadi,
- Aliran flida luar tubes, laminar atau turbulent,
- Fouling atau non-fouling fluida yang mengalir di luar tubes,
- Cara yang dilakukan untuk pembersihan bagian luar tubessacara mekanikal (*mechanical cleaning*) kimiawi (*chemical cleaning*).

Tabel 2.1 Perbandingan dari susunan tube pada alat penukar kalor

Susunan tube	Kebaikan	Kerugian
Bujur sangkar	Bagus untuk kondisi tekanan rendah.Baik untuk pembersihan luar tube secara mekanik.baik untuk melayani fluida yang kotor	Film Koefisiensinya relative rendah
Diamon	Film koefisiensinya yang lebih baik dari susunan bujur sangkar,tetapi tidak sebaik susunan segitiga dan segitiga diputar. Mudah untuk pembersihan dengan mekanis dan baik untuk fluida yang kotor	Film Koefisiensinya relative rendah,jatuhnya tekanan tidak serendah jenis susunan bujursangkar.
Segitiga	Film koefisiensinya yang lebih tinggi dari pada jenis susunan bujursangkar .dapat dibuat jumlah tube yang lebih banyak sebab susunannya lebih kompak.	Jatuh tekanan yang terjadi antara menengah keatas .tidak baik untuk fluida kotor,pembersihanya dengan cara kimia(<i>chemical cleaning</i>)
Segitiga yang diputar	Film koefisiensinya tidak sebesar susunan segitiga,tetapi lebih besar	Jatuh tekanan antara menengah

	<p>daripada susunan bujursangkar,dapat digunakan untuk fluida kotor</p>	<p>keatas,pembersihan dengan kimia(<i>chemical cleaning</i>)</p>
--	---	--

2.3.3 Baffle

Baffle atau sekat yang dipasang pada alat penukar kalor mempunyai beberapa fungsi, yaitu:

1. Struktur untuk menahan *tube-bundle*;
2. Damper untuk menahan atau mencegah terjadinya getaran (*vibration*) pada *tube*;
3. Sebagai alat untuk mengontrol dan mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar *tubes (shell side)*.

Ditinjau dari segi konstruksi, sekat iru dapat diklasifikasikan dalam 4 kelompok yaitu:

1. Sekat pelat berbentuk segment (*segmental baffle plate*);
2. Sekat batang (*rod baffle*);
3. Sekat mendatar (*longitudinal baffle*);
4. Sekat impingement (*impingement baffle*).

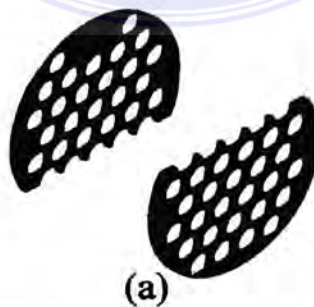
Secara teori *baffle* yang dipasang terlalu berdekatan akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi di antara kedua fluida, namun hambatan yang terjadi pada aliran yang melalui celah antar *baffle* menjadi besar sehingga penurunan tekanan menjadi besar. Sedangkan jika *baffle* dipasang terlalu

berjauhan penurunan tekanan yang terjadi akan kecil. Namun, perpindahan panas yang terjadi kurang baik dan timbul bahaya kerusakan pipa-pipa kerana melengkung atau *vibrasi*.

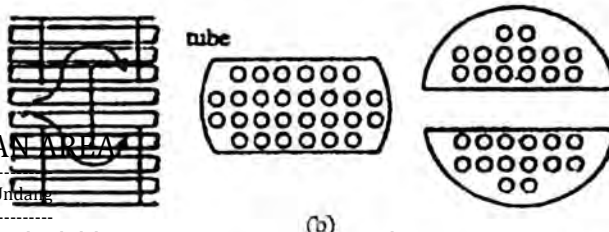
Beberapa jenis plet yang sering digunakan yaitu:

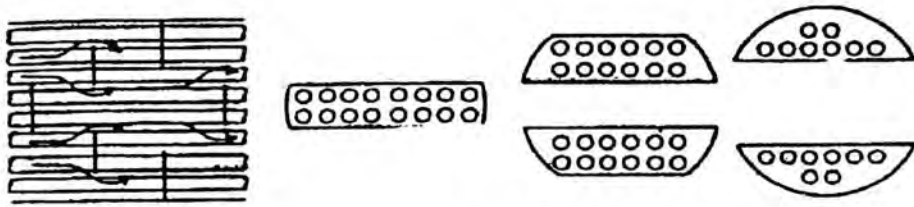
- a. Sekat segmen tunggal
- b. Sekat segmen ganda
- c. Sekat segmen triple
- d. Sekat segmen dimana tidak terdapat tube pada jendela sekat (*no tubes in window segmental baffle*).
- e. Sekat ckram dan donat
- f. Sekat orifis (*baffle with annular orifices*)

Jenis-jenis dari sekat ini dapat dilihat pada gambar a,b,c,d,e, dan f. di antara jenis sekat ini yang jarang dipakai adalah sekat jenis orifis. Apabila sekat dipasang secara utuh (tanpa segment), maka sekat akan merupakan sekat jenis orifis. Tetapi tidak semua kontruksi APK dikehendaki menggunakan sekat orifis sebab aliran fluida laur tubes sangat kecil.



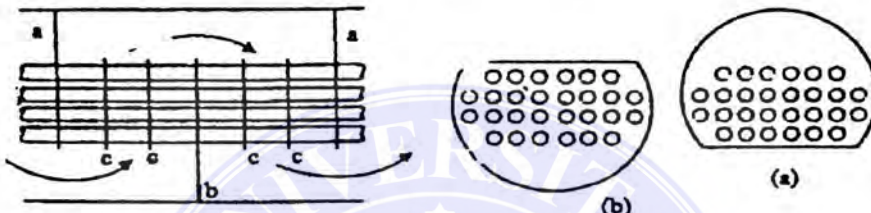
a. Sekat segmen tunggal





(c)

c. Sekat segmen tripel



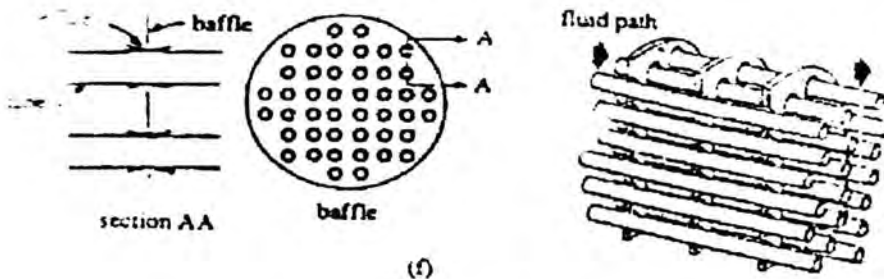
(d)

d. Sekat segmen di mana tidak terdapat tube pada jendela sekat



(e)

e. Sekat cakram dan donat



(f)

Gambar 2.15 Jenis sekat pada alat penukar kalor

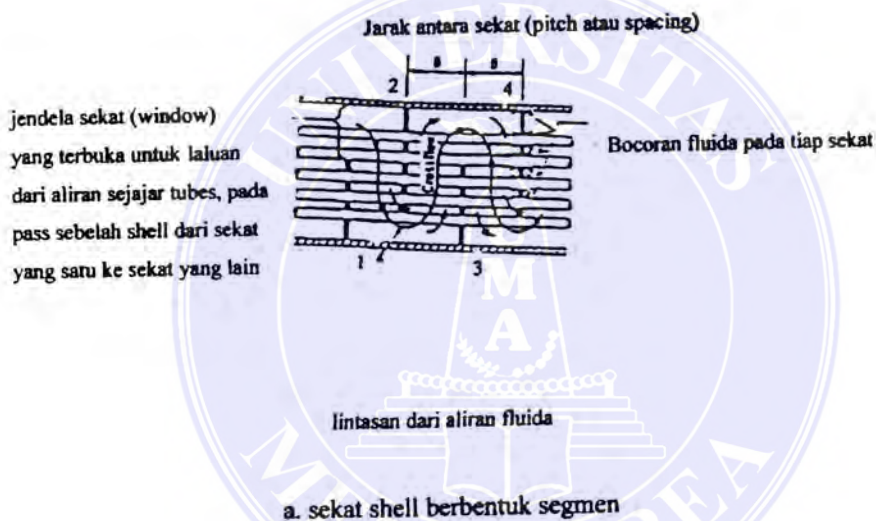
Untuk mengatasi hal tersebut, maka sekat dipotong pada bagian tertentu, yang disebut baffle-cut atau baffle-window (jendela sekat). Besarnya bagian dipotong adalah tergantung konstruksi sekat yang diinginkan. Biasanya hal ini dinyatakan dalam persentase atau % of baffle cut. Pada gambar di bawah ini diperlihatkan 3 potong sekat yang umum dibuat, yaitu:



Gambar 2.16 jenis potongan sekat (baffle cut) mendatar, Tegak lurus dan miring (rotated).

Besarnya pemotongan sekat berkisar antara 15-45% diameter sekatnya, namun yang umum adalah antara 20-25% diameter sekat, sebab pada kondisi ini akan terjadi perpindahan panas yang baik serta penurunan tekanan (*pressure drop*) tidak terlalu besar. Pertimbangan-pertimbangan operasi sangat penting didalam memilih jenis baffle cut mana yang akan dipergunakan. Baffle cut yang di potong tegak biasanya dipergunakan untuk kondensor horizontal, reboiler, alat penguap (vaporizer) dan penukar kalor yang membawa bahab-bahan suspended atau cairan berlumpur atau kotoran (fouling). Maksudnya ialah, bahwa dengan sekat pada bagian atas jendela sekat, sehingga tidak terjadi pembuntuan uap (vaporlock) dan vapor binding (uap yang terjepit).

Pada gambar 2.16 memperlihatkan potongan suatu alat penukar kalor dengan 4 buah sekat jenis segmen tunggal. Segmen nomor 1 dan 3 pada posisi yang sama dan sekat 2 dan 4 pada posisi yang sama pula. Pada gambar 7b nampak masing-masing segmen itu terpisah sehingga jelas susunan pipa pada bagian baffle cut atau jendela sekat. Pada sekat nomor 2 dan 4, nampak tube di sebelah atas melalui jendela sekat (baffle cut), pada sekat 1 dan 3 tube disebelah atas melalui jendela sekat, sedangkan tubes disebelah bawah akan menembus sekat tersebut.



Gambar 2.17 sekat pada sisi shell dan luas saluran melintang

Selain teoritis, baffle yang dipasang terlalu berdekatan akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi diantara kedua fluida, namun hambatan yang terjadi pada aliran yang melalui celah antar baffle menjadi besar sehingga penurunan tekanan menjadi besar. Sedangkan jika baffle dipasang terlalu berjauhan penurunan tekanan yang terjadi akan kecil. Namun perpindahan panas yang terjadi kurang baik dan timbul bahaya kerusakan pipa-pipa karena melengkung atau vibrasi.

Jumlah baffle dirumuskan dengan:

$$N_b = \frac{L_s}{L_b} - 1 \dots\dots\dots (John R. Thomas)$$

Dimana:

N_b : Jumlah baffle;

L_s : Panjang shell (mm);

L_b : Jarak antara baffle (mm);

Pertimbangan-pertimbangan operasi sangat penting di dalam memilih jenis baffle cut yang akan digunakan. Untuk mencapai pemotongan baffle cut digunakan rumus:

$$\text{Baffle cut} = \frac{I_c}{D_i} \times 100\%$$

Dimana : I_c : jarak baffle cut (mm);

D_i : diameter dalam shell (mm).

2.4 Proses Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Kalor

2.4.1 Proses Perpindahan Panas

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahny suatu energi panas (kalor) dan satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut. Macam-macam proses perpindahan kalor, yaitu:

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dan daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Secara umum laju aliran kalor secara konduksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (JP.Holman)$$

keterangan:

q = laju aliran kalor (W)

k = konduktifitas termal bahan (W/m²°C)

A = luas penampang (m²)

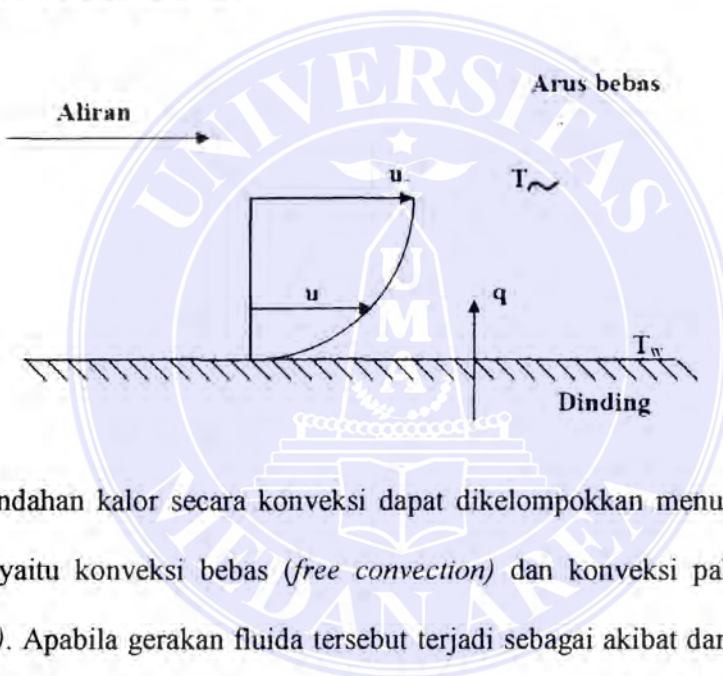
dT/dx = gradient suhu terhadap penampang tersebut, yaitu laju

perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x.

2.4.2 Perpindahan kalor secara konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dan konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat pelting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dan suatu

permukaan yang suhunya diatas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dan permukaan ke partikel partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.



Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dan perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradien suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dan luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Laju perpindahan kalor antara suatu permukaan plat dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan:

$$Q_c = hc A \Delta T \dots\dots\dots (JP. Holman)$$

Dimana : q_c = Laju perpindahan kalor secara konveksi (W)
 H_c = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2.K$)
 A = Luas perpindahan kalor (m^2)
 AT = Beda antara suhu permukaan T_w dan suhu fluida T_f

2.4.3 Lapis Batas Thermal

Lapis batas thermal (*Thermal Boundary Layer*) adalah daerah dimana terdapat gradient suhu dalam aliran. Gradient suhu ini adalah akibat proses pertukaran kalor antara fluida dengan dinding tabung.

1. Panjang Masuk Thermal dan Hidrodinamik

Panjang masuk hidrodinamik adalah panjang yang diperlukan saluran masuk tabung untuk mencapai kecepatan maksimum dan besaran aliran berkembang penuh. Sedangkan panjang kalor thermal adalah panjang yang dibutuhkan dan awal daerah perpindahan kalor untuk mencapai angka Nusselt local (Nu). Jika perpindahan kalor ke fluida dimulai segera setelah fluida memasuki saluran, lapisan batas kalor dan kecepatan mulai berkembang dengan cepat, maka keduanya diukur dan depan saluran.

2. Aliran Terbentuk Penuh

Apabila fluida memasuki tabung dengan kecepatan seragam, fluida akan melakukan kontak dengan permukaan dinding tabung sehingga viskositas menjadi penting dan lapisan batas akan berkembang. Perkembangan ini terjadi bersamaan dengan menyusunya daerah aliran inviscid diakhiri dengan bergabungnya lapisan batas pada garis pusat tabung. Jika lapisan-lapisan batas tersebut telah memenuhi

seluruh tabung, maka dikatakan aliran berkembang penuh (fully developed).

Bilangan Reynolds untuk aliran dalam pipa dapat di definisikan dengan:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \dots\dots\dots (JP. Holman)$$

Dimana: ρ = kerapatan fluida (kg/m³)

u = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

Sedang bilangan Nusselt untuk aliran yang sudah jadi atau berkembang penuh (*fully developed turbulent flow*) di dalam tabung hem dapat dituliskan dengan persamaan:

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \dots\dots\dots (JP. Holman)$$

dimana,

$n = 0,3$ untuk pendinginan.

$n = 0,4$ untuk pemanasan.

Re = adalah bilangan Reynolds

Pr = adalah bilangan Prandtl

2.4.4 Tekanan

Tekanan dinyatakan sebagai gaya per satuan luas. Untuk keadaan dimana gaya (F) terdistribusi merata atas suatu luas (A), maka:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana:

P = tekanan fluida (Pa atau N/m^2)

F = gaya (N)

A = luas (m^2)

Penurunan tekanan pada dua titik, pada ketinggian yang sama dalam suatu fluida adalah:

$$\Delta P = (\gamma Hg - \gamma_{air}) \Delta h$$

Dimana :

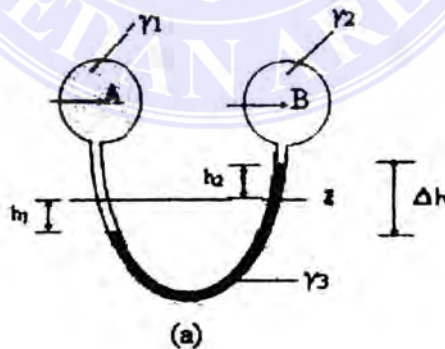
ΔP = penurunan tekanan (N/m^2)

γHg = berat jenis raksa (N/m^3)

γ_{air} = berat jenis air (N/m^3)

Δh = perbedaan ketinggian (m)

Untuk mengetahui perbedaan tekanan antara dua titik menggunakan manometer diferensial.



Gambar Manometer Diferensial

2.4.5 Laju Perpindahan Kalor pada Alat Penukar Kalor

Pada dasarnya laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor dipengaruhi oleh adanya tiga (3) hal, yaitu:

1. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U)

Besarnya koefisien perpindahan kalor menyeluruh suatu alat penukar kalor pipa ganda merupakan kebalikan dan tahanan keseluruhan. Tahanan keseluruhan terhadap perpindahan kalor mi adalah jumlah semua tahanan perpindahan panas pada alat penukar kalor pipa ganda. Tahanan mi meliputi tahanan konveksi fluida, tahanan konduksi karena tebal tube, efisiensi total permukaan luar, efisiensi total permukaan dalam

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{to} h_0} + R_{kwall} + \frac{A_0}{\eta_{ti} A_i h_i}} \quad \text{(Frank Keith)}$$

Dimana:

$R_{k wall}$ = tahanan termal dinding dimana dipasang sirip-sirip.

η_{ti} = efisiensi total untuk permukaan dalam

η_{to} = efisiensi total untuk permukaan luar

A_0 = luas permukaan luar total (m^2)

A_i = luas permukaan dalam total, dalam (m^2)

h_0 = koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa bagian luar
(W/m^2K)

h_0 = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa bagian dalam
(W/m^2K)

Koefisien perpindahan kalor pada masing-masing proses perpindahan kalor dapat dijabarkan sebagai berikut:

a) Koefisien perpindahan kalor konveksi pipa bagian dalam (h_i)

$$h_i = \frac{Nuk}{D_h} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

Nu = Bilangan Nuselt

k = Konduktifitas termal ($W/m^{2\circ C}$)

Dh = Diameter hidrolis (m)

2.5 Perhitungan Alat Penukar Kalor

2.5.1 Prosedur Perencanaan Alat Penukar kalor

Alat penukar kalor jenis ini menggunakan dua macam pipa yang diameternya tidak sama. Pada konstruksi pipa ganda ini terdapat pipa didalam (innertubes) dan pipa luar (outertubes) sering disebut annulus (annuli).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat penukar kalor jenis shell and tube dengan arah aliran berlawanan.

Pokok pembahasan pada perencanaan alat penukar kalor ialah masalah perpindahan panas. Jika panas yang dilepaskan besarnya adalah Q persatuan waktu, maka panas diterima oleh fluida yang dingin sebesar Q pula.

Kemampuan untuk menerima panas itu dipengaruhi oleh 3 (tiga) hal yaitu:

1. Koefisien perpindahan panas keseluruhan (the overall heat transfer coefficient) U;
2. Luas perpindahan panas A;

3. Selisih temperature rata-rata (mean temperature different, the driving temperature force) ΔT_{Lm}

Hubungan antara besaran itu adalah $Q = U.A. \Delta T_{Lm}$ (JP. Holman)

Setelah mengetahui besarnya kalor yang akan dilepaskan fluida panas ke fluida dingin (Q), selanjutnya adalah menentukan besarnya luas permukaan alat penukar kalor. Ini merupakan kunci persoalan, sebab dari sini dapat diketahui jumlah tube yang akan dipergunakan, panjang dan diameter tube. Besarnya koefisien perpindahan panas keseluruhan U suatu alat penukar kalor merupakan kebalikan dari ketahanan keseluruhan. Tahanan keseluruhan terhadap perpindahan panas itu adalah jumlah semua tahanan pada alat penukar kalor. Tahanan ini meliputi tahanan konveksi fluida panas, tahanan konveksi lapisan atau kotoran pada fluida panas, tahanan konduksi karena tebal tubes, tahanan panas pada lapisan kotoran sebelah fluida dingin itu sendiri.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{X_w}{K_w} = \frac{1}{h_{di}} + \frac{1}{h_i} \dots\dots\dots(\text{Sadik Kakac, (2.1)})$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o \ln(d_o/d_i)}{2K_w} + \frac{d_o}{d_i} \times \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_o}{d_i} \times \frac{1}{h_i}$$

Dimana:

- U_o = Koefisien perpindahan panas keseluruhan yang didasarkan atas luas tube, [W/m².°C]
- h_o = Koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar tube (fouling factor), [W/m².°C]

- h_i = Koefisien perpindahan panas lapisan kotoran yang berada pada bagian dalam *tube* (fouling factor), [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
- d_o = Diluar *tube*, [m]
- d_i = Diameter dalam *tube*, [m]

Besarnya masing-masing koefisien perpindahan panas itu tergantung dari:

1. Perpindahan panas yang terjadi, apakah dengan konduksi, konveksi, radiasi, kondensasi atau mendidihkan;
2. Keadaan fisik fluida;
3. Penyusunan secara fisik permukaan panasnya.

Sistematika yang dipergunakan untuk merencanakan alat penukar kalor konstruksi shell and tube:

1. Tentukan:
 - a. Laju perpindahan panas;
 - b. Laju aliran fluida;
 - c. Temperatur fluida.
2. Kumpulkan data-data mengenai keadaan fisik seperti: density, viskositas, *thermal conuctivity*, panas jenis dan lain-lain;
3. Tentukan tipe alat penukar kalor yang akan dipergunakan;
4. Pilih nilai koefisien perpindahan panas, dimana nilai ini nanti akan diuji kebenarannya;
5. Hitung selisih temperatur rata-rata ATLM

6. Tentukan melalui perhitungan dengan persamaan di atas besarnya luas alat penukar kalor;
7. Tentukan tata letak (*layout*) tube alat penukar kalor;
8. Hitung koefisien perpindahan panas individu untuk masing-masing, fluida panas, lapisan film, film pada bagian yang dingin serta fluida sendiri;
9. Hitung koefisien perpindahan panas keseluruhan U. Bandingkan nilai yang diperoleh ini dengan nilai yang diambil butir ke 4 di atas. Apabila bedanya kecil dapat ditolerir, untuk beda U yang besar, maka perhitungannya dimulai lagi dari butir ke 7 atau butir 4 atau butir ke 3;
10. Hitung besarnya jatuh tekanan (*pressure drop*) pada alat penukar kalor, apabila nilai ini lebih besar dari yang diijinkan maka perhitungannya dimulai lagi dari butir ke 7 atau butir ke 4 atau butir ke 3;
11. Optimalkan perencanaan dengan mengulangi dari butir ke 4 sampai butir 10, sehingga diperoleh alat penukar kalor yang murah. Hal ini tercapai dengan luas panas yang yang kecil.

Di dalam merencanakan alat penukar kalor, harus dipertimbangkan dari dua segi yaitu: segi proses dan segi mekanikal (*proses design and mechanical design*). Informasi mengenai hal itu harus dikuasai sehingga dapat membuat perencanaan yang sempurna.

Faktor pengotoran (*fouling factor*)

Faktor pengotoran ini sangat mempengaruhi perpindahan panas pada alat penukar kalor. Pengotoran pada bagian dalam dan bagian luar tube selalu terjadi

selama alat penukar kalor beroperasi. Terjadinya kotoran atau deposit pada permukaan luar tube akan menaikkan tahanan panasnya. Hal ini akan menurunkan koefisien perpindahan panas keseluruhan U. Semakin tebal kotoran pada tube semakin besar pula gangguannya (hambatannya) yang terjadi.

Beberapa factor yang dapat menimbulkan pengotoran pada alat penukar kalor adalah:

1. Temperatur fluida;
2. Temperatur dinding *tube*;
3. Material *tube* serta ketelitian pengerjaan;
4. Kecepatan aliran fluida;
5. Nature fluida dan deposit material;
6. Waktu atau lamanya beroperasi sejak pembersihan yang terakhir.

2.5.2 Selisih temperatur Rata-rata

Sebelum menentukan luas permukaan panas alat penukar kalor (A), maka terlebih dahulu ditentukan nilai dari $\Delta T.Lm$. Ini dihitung berdasarkan selisih temperatur dari fluida yang masuk dan keluar dari alat penukar kalor. Selisih temperatur rata-rata logaritmik (logarithmic mean overall temperature difference- LMTD) atau $\Delta T.Lm$ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$LMTD = \Delta T.Lm = \frac{(T1 - t2) - (T2 - t1)}{\ln \frac{(T1 - t2)}{(T2 - t1)}} \dots\dots\dots(JP. Holman, (2.2))$$

Dimana:

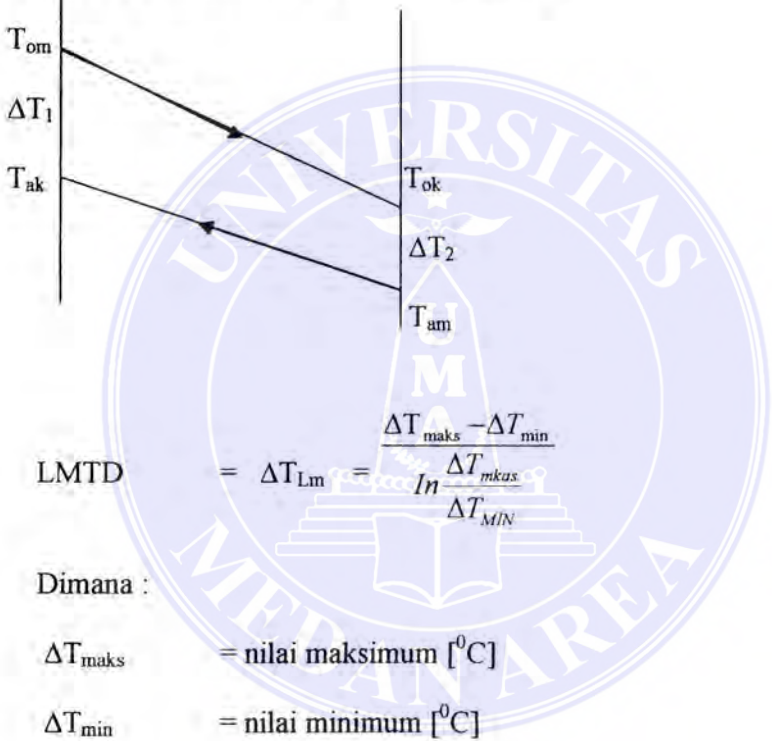
T_1 = Temperatur fluida masuk ke dalam shell, [°C]

T_2 = Temperatur fluida keluar dari shell, [°C]

t_1 = Temperatur fluida masuk ke dalam tube, [°C]

t_2 = Temperatur fluida keluar dari tube, [°C]

Secara umum persamaan itu ditulis sebagai berikut:



2.5.3 Laju Aliran Perpindahan Kalor

Jumlah kalor yang diserap oleh air dalam annulus dihitung dengan rumus:

$$Q = mc.Cpc.(Tc out-Tc in) = mh.Cph.(Th out-Th in) \dots\dots\dots JP Holman, (2.3)$$

Dimana:

M_c = Laju aliran massa air [Kg/s]

M_h = Laju aliran minyak pelumas [Kg/s]

C_{pc} = Panas jenis air [kJ/kg K]

C_{ph} = Panas jenis minyak pelumas [J/kg K]

$T_{c\ out}$ = Suhu air masuk shell [°C]

$T_{c\ in}$ = Suhu air keluar shell [°C]

$T_{h\ out}$ = Suhu masuk minyak pelumas tabung [°C]

$T_{h\ in}$ = Suhu keluar minyak pelumas tabung [°C]

Laju perpindahan kalor konveksi dari dinding luar tabung ke air di dalam sisi annulus:

$$Q = U.A. \Delta T.Lm \dots\dots\dots(JP\ Holman, (2.4))$$

Dimana:

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh [W/m².°C]

A = Luas perpindahan kalor [m²]

$\Delta T.Lm$ = Beda suhu rata-rata [°C]

Jumlah tabung:

$$N_t = 0,785 (CTP/CL) \left(\frac{D_s^2}{d_0} \right)^2 \dots\dots\dots(Sadik\ Kalac, (2.5))$$

$CTP = 0,93$ $\left[\begin{array}{l} \text{Untuk susunan tabung bujur sangkar} \end{array} \right]$
 $CL = 1,0$

D_s = Diameter luar shell [m]

P_t = Jarak antara pusat tube [m]

d_0 = Diameter luar tabung [m]

Temperatur oli rata-rata:

$$T_o = \frac{T_{om} + T_{ok}}{2} \dots\dots\dots(\text{JP Holman, (2.6)})$$

Kalor yang diserap oli:

$$Q_{oli} = m_{oli} C_{p_o} (T_{om} - T_{ok}) \dots\dots\dots(\text{JP Holman, (2.7)})$$

M_{oli} = Laju aliran oli [kg/s]

C_{p_o} = Panas jenis oli [kJ/kg °C]

Diameter Ekuivalen:

$$D_e = \frac{4(Pt^2 - \pi d_d^2 / 4)}{\pi d_o} \dots\dots\dots(\text{W.S Janna, (2.8)})$$

Luas aliran pada sisi tabung, A_t [m] :

$$A_t = \frac{Nt\pi(di)^2}{4NP} \dots\dots\dots(\text{W.S Janna, (2.9)})$$

Dimana:

Nt = Jumlah Tabung (buah)

di = Diameter dalam tube [m]

Np = Jumlah laluan (pass)

Jenis aliran didalam pipa dapat ditentukan dari bilangan Reynold

$$Re = \frac{4m}{\pi D \mu} \dots\dots\dots(\text{JP Holman, (2.10)})$$

Dimana:

M_o = Laju aliran oli [kg/s]

D_e = Diameter Ekuivalen [m]

μ_o = Viskositas dinamik oli [kg/m.s]

A_t = Laju aliran pada sisi tabung [m]

Bilangan Nusselts pada tabung:

$$Nu_{ut} = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n \dots\dots\dots (JP Holman, (2.11))$$

Dimana:

Pr = Bilangan prandtl

$n = 0,4$ jika fluida sebagai pemanas

$n = 0,3$ jika fluida sebagai pendingin

Koefisien perpindahan panas pada shell, h_t [W/m²K]:

$$h_t = Nu_t \times \frac{k_{oli}}{d_i} \dots\dots\dots (JP Holman, (2.12))$$

k_{oli} = Konduktivitas termal oli [W/m°C]

Luas aliran pada sisi shell, A_s [m]:

$$A_s = \frac{D_s \cdot C \cdot L_b}{P_t} \dots\dots\dots (JP Holman, (2.13))$$

Dimana:

$C = P_t - d_o$ (jarak bebas antar dua permukaan tube) [m]

L_b = jarak antara sekat (baffle) [m]

Menurut *Janna (2004)*, aliran pada sisi *shell* dapat ditentukan berdasarkan

Reynold number :

$$Re = \frac{m_c \cdot D_e}{\mu \cdot A_s} = \frac{G_L \cdot D_e}{\mu}$$

A_s = Luas aliran pada sisi shell [m]

Bilangan Nusselts shell, N_{us} :

$$N_{us} = 0,027 \times Re^{0,8} Pr^{1/3} [\mu / \mu_w] \dots\dots\dots (JP Holman, (2.15))$$

Dimana:

μ_w = Viskositas dinamik air pada suhu dinding (T_w), [kg/m.s]

μ = Viskositas dinamik air [kg/m.s]

Koefisien perpindahan panas pada shell, h_s [W/m²K]:

$$h_s = N_{us} \times \frac{k_{air}}{De} \dots\dots\dots (JP Holman, (2.16))$$

Dimana:

K_{air} = Konduktivitas termal air, [W/m°C]

De = Diameter ekuivalen [m]

Koefisien perpindahan panas menyeluruh U :

$$U = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i} \times \frac{1}{h_i} + \frac{d_o}{2k} \times \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_s}} \dots\dots\dots (JP Holman, (2.17))$$

Luas perpindahan luas total:

$$A_t = \frac{Q_{oli}}{U \times \Delta T.Lm.F} \dots\dots\dots (JP Holman, (2.18))$$

Q_{oli} = Laju aliran perpindahan kalor oli [W]

Panjang tabung:

$$L = \frac{At}{\pi d_o x N t} \dots\dots\dots (\text{Sadik kakac, (2.19)})$$

Efektifitas Alat Penukar Kalor

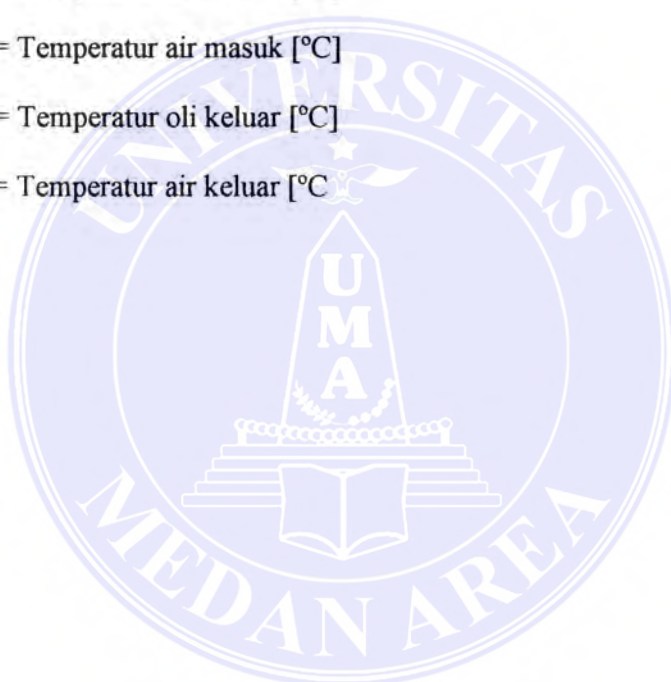
$$\epsilon = \frac{m_h c_h (T_{om} - T_{ok})}{m_h c_h (T_{om} - T_{am})} \dots\dots\dots (\text{J.P.Holman, (2.20)})$$

T_{ak} = Temperatur air keluar [°C]

T_{am} = Temperatur air masuk [°C]

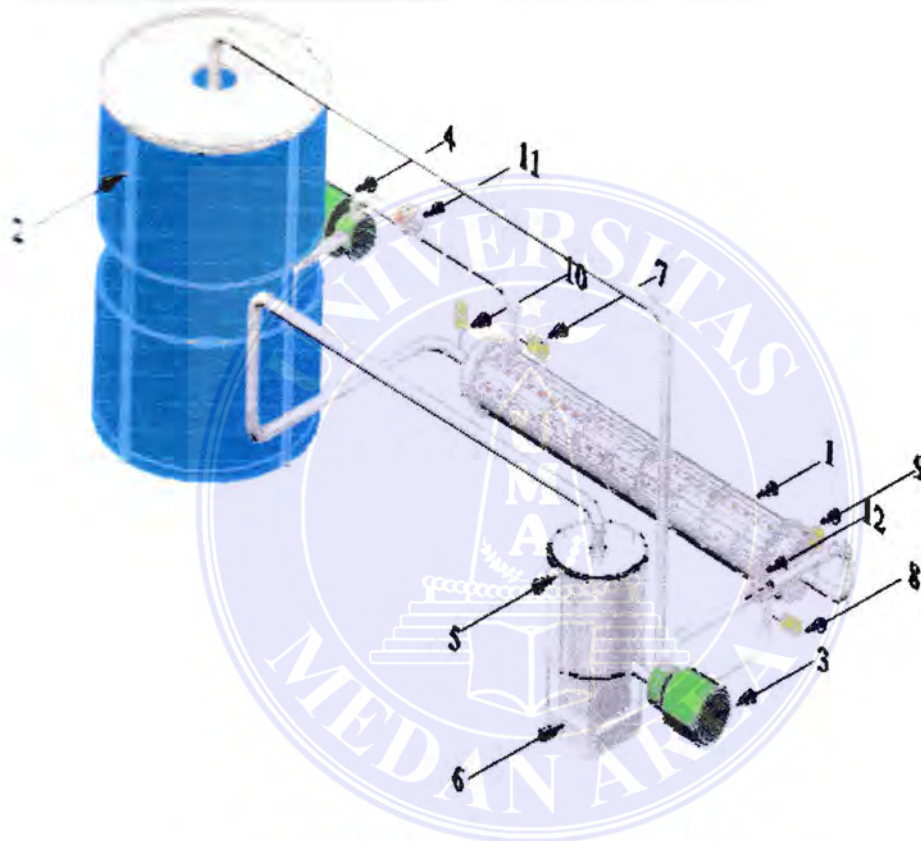
T_{om} = Temperatur oli keluar [°C]

T_{am} = Temperatur air keluar [°C]



BAB III ANALISIS PEMBAHASAN

3.1 Gambar Desain Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)



Gambar 3.1. Desain Alat Penukar Kalor

Keterangan gambar :

1. Alat Penukar Kalor (APK) 1-1 *pass*
2. Colling Tower
3. Pompa Minyak
4. Pompa Air

5. Tangki Oli
6. Pemanas
7. Pengukur Suhu Air Masuk
8. Pengukur Suhu Air Keluar
9. Pengukur Suhu Oli Masuk
10. Pengukur Suhu Oli Keluar
11. Gate Valve Air
12. Gate Valve Oli

3.1.1 Prinsip kerja Alat Penukar Kalor

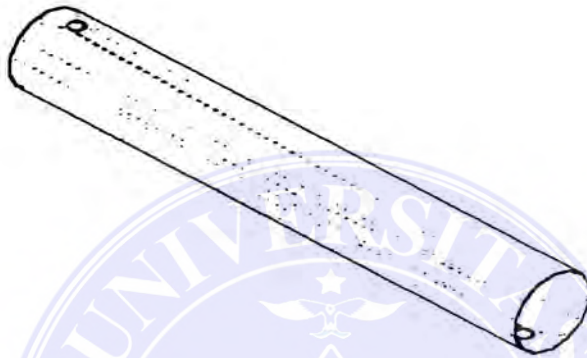
Adapun prinsip kerja Alat Penukar Kalor Shell and tube ialah:

Oli dipanaskan sampai suhu yang telah ditentukan, kemudian dipompakan dan diatur kecepatannya dengan mengatur besar bukaan katup setelah itu oli mengalir melalui pipa terus masuk kedalam tube inlet terus ketabung (*tube*) terus keluar melalui tube outlet kemudian oli kembali ketangki oli, biarkan oli bersirkulasi hingga suhu oli stabil. Setelah itu air dari cooling tower dipompakan kedalam *shell* dan juga diatur kecepatannya sesuai dengan yang telah ditetapkan. Perpindahan panas akan terjadi di dalam alat penukar kalor, dikarenakan adanya perbedaan suhu antara oli dan air.

3.1.2 Komponen-komponen Alat Penukar Kalor

1. Selongsong (*shell*)

Selongsong (Shell) ialah tempat mengalirnya salah satu fluida dan juga sebagai rumah dari *tubes*



Gambar 3.2 Selongsong (*Shell*)

2. Tabung (*tube*)

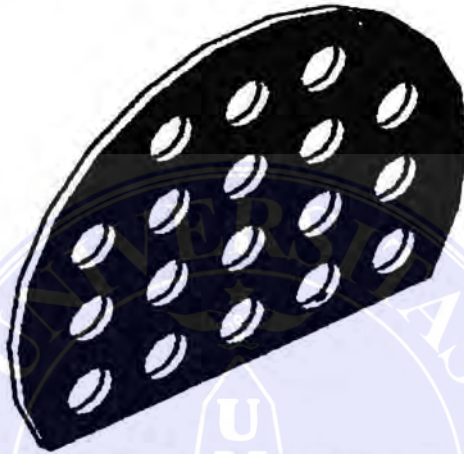
Tabung (Tube) juga merupakan tempat mengalirnya salah satu fluida. Dan juga berfungsi untuk menghindari tercampurnya dua fluida.



Gambar 3.3. Tabung (*Tube*)

3. Penyekat (*baffle*)

Penyekat (*Baffle*) adalah alat yang berfungsi sebagai penahan *tube*, menahan atau mencegah terjadinya getaran pada *tube* dan sebagai pengarah aliran fluida yang mengalir di luar *tubes* (*shell side*).



Gambar 3.4. Penyekat (*Baffle*)

4. Header Plate

Header plate yaitu tempat tersusunnya tabung-tabung dan penyekat antara *shell* dan outlet/inlet *tubes*. Fungsinya agar kedua fluida tidak tercampur.



Gambar 3.5. Header Plate

5. Tube outlet / inlet

Tube outlet / inlet ialah tempat masuk dan keluarnya fluida yang mengalir dalam *tube*.



Gambar 3.6. *Tube outlet / inlet*

3.2 Perancangan Alat Penukar Kalor

Untuk merancang alat penukar kalor (APK) diperlukan data-data yang yang dipilih dan ditetapkan seperti berikut ini:

Suhu air masuk, T_{am}	= 25 [°C]
Suhu air keluar, T_{ak}	= 35 [°C]
Suhu oli masuk, T_{om}	= 60 [°C]
Suhu oli keluar, T_{ok}	= 40 [°C]
Laju aliran air, m_a	= 0,04 [kg/s]
Diameter dalam shell, D_s	= 110 [mm]
Diameter luar tabung, D_o	= 12,7 [mm]
Diameter dalam tube, D_i	= 11,7 [mm]
Ptch. P_t	= 20 [mm]

Jumlah tabung, N_t

$$N_t = 0,785(CTP/CL) \times \frac{Ds^2}{\left(\frac{PI}{do}\right) \cdot do^2}$$

$$= 0,785 (0,93/1.0) \times \frac{0,11^2}{\left(\frac{0,02}{0,0127}\right)^2 \cdot 0,0127^2}$$

$$= 22,08 \text{ (secara teori)}$$

$$= 22 \text{ (ditetapkan)}$$

Tebal baffle = 3 [mm]

Jumlah laluan tabung, N_p = 1 Laluan

Susunan tabung = Segi empat

Temperatur oli rata-rata:

$$T_o = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} = \frac{60 + 40}{2} = 50^\circ C$$

Dari tabel diperoleh sifat-sifat fluida oli pada temperatur rata-rata $50^\circ C$ adalah:

Panas jenis oli, $C_{p\text{oli}}$ = 2,0056 [kJ/kg °C]

Massa jenis oli, ρ oli = 870,04 [kg/m³]

Konduktivitas thermal, k_{oli} = 0,142 [W/m.°C]

Viskositas Kinematik ν_o = 0,00054 [m²/s]

Bilangan prandtl, Pr = 1960

Temperatur air rata-rata:

$$T_a = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{25 + 35}{2} = 30^\circ C$$

Dari tabel diperoleh sifat-sifat fluida air pada temperatur rata-rata 30°C adalah:

Panas jenis air, C_{Pa} = 4,1765 [kJ/kg.°C]

Massa jenis air, ρ_a = 995,3 [kg/m³]

Kekentalan mutlak air, μ_a = 8,03x10⁻⁴ [kg/m.s]

Konduktivitas thermal, k_a = 0,6194 [W/m.°C]

Bilangan prandtl, Pr = 5,42

Kalor yang diserap air:

$$Q_{Oli} = Q_{air}$$

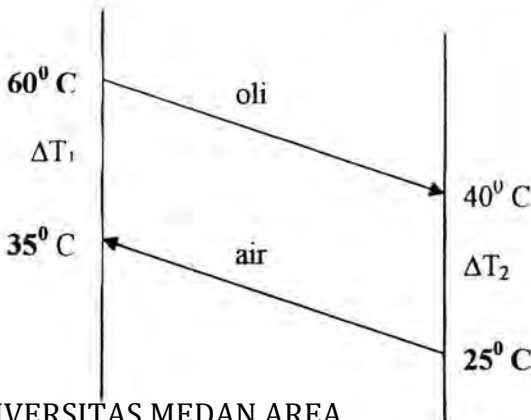
$$m_o \cdot C_{p_o} (Th_i - Th_o) = m_a \cdot C_{p_a} (Tc_o - Tc_i)$$

$$m_o \cdot 2,0056 (60 - 40) = 0,04 \cdot 4,176 (35 - 25)$$

$$m_o = 0,0416 \text{ [kg/s]}$$

Maka, Q_{air} = 1,6704 [KW]

$$= 1670,4 \text{ [W]}$$



$$\begin{aligned} \Delta T_{LM} &= \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \\ &= \frac{(25 - 15)}{\ln \frac{25}{15}} = 19,58 [^\circ C] \end{aligned}$$

Diameter Ekuivalen:

$$\begin{aligned}
 D_e &= \frac{4(P_t^2 - \pi d_o^2 / 4)}{\pi d_o} \\
 &= \frac{4((0,02)^2 - 3,14(0,0127)^2 / 4)}{3,14 \times 0,0127} \\
 &= 0,0274 \text{ [m]}
 \end{aligned}$$

Luas aliran pada sisi tabung:

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{N_t \pi (d_i)^2}{4 N_p} \\
 &= \frac{22,3,14 \cdot (0,0117)^2}{4 \cdot 1} \\
 &= 0,00236 \text{ [m]}
 \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas pada tabung, h_t

Bilangan Reynold:

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{4 x m_o}{\pi \cdot D_o \cdot \mu_o \cdot N_t} \\
 &= \frac{4 \times 0,0416}{3,14 \times 0,0127 \times 0,1400 \times 22} \\
 &= 1,354 \text{ (Laminar)}
 \end{aligned}$$

Bilangan Nusselts:

$$\begin{aligned}
 N_{ut} &= 1,86 \left[\frac{R_e \cdot P_r \cdot d_i}{L} \right]^{0,333} \\
 &= 1,86 \left[\frac{1,354 \times 1960 \times 0,0117}{1,0} \right]^{0,333} \\
 &= 5,84
 \end{aligned}$$

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



$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } h_t &= N_{ut} \times \frac{k_o}{d_i} \\
 &= 5,84 \times \frac{0,142}{0,0117} \\
 &= 70,87 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}
 \end{aligned}$$

Luas aliran pada sisi *shell*:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{D_s(P_t - d_o)L_b}{P_t} \\
 &= \frac{0,11(0,02 - 0,0127)0,066}{0,02} \\
 &= 0,00265 \text{ [m]}
 \end{aligned}$$

Bilangan Reynold pada sisi *shell*:

$$\text{Res} = \frac{m_a D_e}{\mu_a A_s} = \frac{0,04 \times 0,0274}{0,000803 \times 0,00264} = 515,04 \text{ (Laminar)}$$

Bilangan Nusselt *shell*:

$$\begin{aligned}
 \text{Nu}_s &= 1,86(\text{Re.Pr.D/L})^{0,33} \cdot \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14} \\
 &= 1,86 (515,04 \times 5,48 \times 0,11/1,0)^{0,33} \left(\frac{8,03 \times 10^{-4}}{1,31 \times 10^{-3}} \right)^{0,14} \\
 &= 11,49
 \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas pada *shell*:

$$h_s = \text{Nu}_s \times \frac{k_{air}}{d_e}$$

$$= 11,49 \times \frac{0,6194}{0,0274}$$

$$= 259,74 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Koefisien perpindahan panas menyeluruh U:

$$U = \frac{1}{\frac{d_o}{d_o h_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2k} + \frac{1}{h_s}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,0127}{0,0127 \times 70,87} + \frac{0,0127 \ln\left(\frac{0,0127}{0,0117}\right)}{2 \times 386} + \frac{1}{259,74}}$$

$$= 98,50 \text{ [W/m}^2\text{ K]}$$

Luas perpindahan panas total:

$$At = \frac{Q_{oli}}{U \Delta T_{LM} XF}$$

$$= \frac{1670,6}{98,50 \times 19,58 \times 1}$$

$$= 0,866 \text{ [m}^2\text{]}$$

Maka panjang tabung adalah:

$$L = \frac{At}{\pi d_o N_i}$$

$$= \frac{0,866}{3,14 \times 0,0127 \times 22}$$

$$= 0,99 \text{ [m]}$$

$$= 1,0 \text{ [m]}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penulisan Tugas Akhir mengenai alat penukar kalor ini yaitu:

1. Panjang tabung pada alat penukar kalor dari hasil teori perancangan adalah 1,0 [m], dan panjang tabung yang dipilih pada pembuatan alat penukar kalor adalah 1,0 [m];
2. Efektivitas pada alat penukar kalor tertinggi adalah pada laju aliran 0,045[kg/s] yaitu 34 %;

5.2 Saran

1. Efektivitas alat penukar kalor yang dihasilkan sangat rendah, oleh karena itu agar suatu perancangan alat penukar kalor dapat menghasilkan efektivitas yang tinggi, maka sebaiknya alat penukar kalor memiliki luas perpindahan panas yang besar, jumlah pass nya diperbanyak, alat penukar kalor harus di beri isolasi.
2. Efektivitas juga dipengaruhi oleh kebersihan dari alat penukar kalor tersebut. Untuk itu sebaiknya alat penukar kalor dibersihkan secara berkala, misalnya setiap 1 (satu) bulan sekali.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapman, J. Alam. 1984. Heat Transfer. Mac Millan Publishing Company.
London, New York
- Ekadewi A. Handoyo. 2001. Pengaruh Penggunaan Baffle Pada Shell And Tube
Heat Exchanger. Journal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra Surabaya.
- H. Lienhard John. A Heat Trasfer Textbook. Third Edition. Phlogiston Press Cambridge.
Massachusetts, U.S.A
- Hewitt, G. F, J. L. Shires and T. R. Bolt. 2000. Process Heat Transfer.
John Willey and Son, New York.
- Hewitt, G.F. 1994. Process Heat Transfer. CRR Press Inc, U.S.A
- Holman, J. P. 1987 Heat Transfer. McGraw-Hill, New York
- 1997. Perpindahan Kalor. Edisi Keenam. Erlangga, Jakarta.
- Incopera, F.P. 1981. Fundamental OF Heat Trasfer. John Willey & Sons, New York
- Keith, Frank. 1986. Principles of heat transfer. Edisi keempat. Harper and Row, New
York.
- Toborek, J. 1982. Shell And Tube Heat Exchanger Single Pass Flow, in Heat Exchanger
Design Handbook. Section 3.3 Hemisphere, New York
- Sadik, Kakac, Hong Tang Liu, 2002. Heat Exchanger. Washington.
- Sitompul, Tunggul M. 1993. Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger), edisi 1, cetakan 1.
Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- White, Frank M. 1998. Heat and Mass Transfer. Addison-Wesley, U.S.A
- Widharto, Sri. 2004. Inspeksi Teknik, Buku 4. Penerbit Pradnya Paramitha, Jakarta.