

UNJUK KERJA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA DENGAN ARAH BERLAWANAN (COUNTER FLOW)

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh :

**AMIN KURNIAWAN
NIM : 06 813 0019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2010**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/8/23

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)29/8/23

ABSTRACT

In this experimental study used a double pipe heat exchanger as a test tool with the settings flow direction opposite direction (counter flow) and then were examined and calculated thermal performance in a number of convection heat transfer coefficient is expressed in terms of friction factor. This experiment was done by varying the speed of fluid flow in cold water and hot water maintained at a temperature of 61 ° C. From the experimental results obtained by the performance of the thermal (heat transfer coefficient) which said with Nuselt number (Nu) and Reynolds number (Re), which maksimum and a decrease drop expressed at $Re = 15057.74$ and $f = 0.326$, $\epsilon = 14.5119\%$, $Nu = 79.359$ at $Re = 12702.544$ and $f = 0.51006$, $\epsilon = 14.8165\%$. The results of this experiment was also obtained results comparison between the performance of the Heat Exchanger (GER) double pipe flow the opposite direction of the flow where the better performance occurred in the opposite flow.

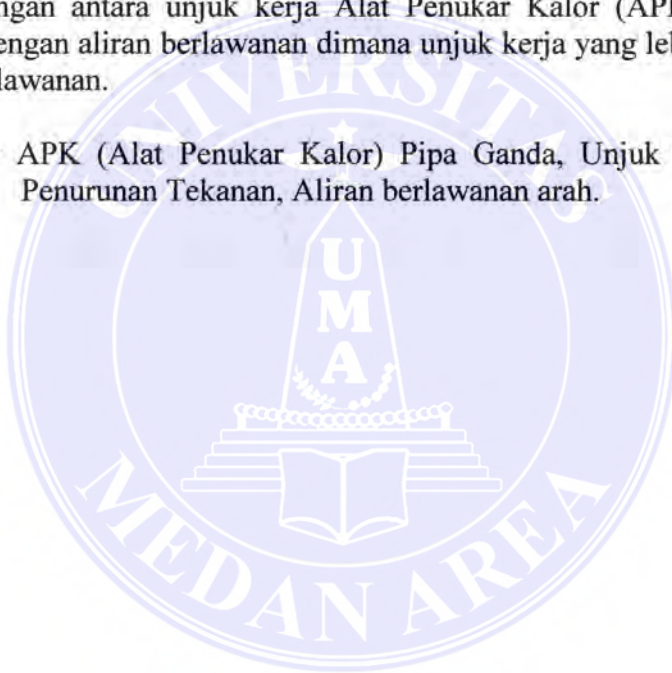
Keywords: WFA (Heat Exchanger) double pipe, the performance of the

Thermal, Pressure Drop, Flow in the opposite direction.

ABSTRAK

Pada penelitian secara eksperimen ini digunakan alat penukar kalor pipa ganda sebagai alat uji dengan pengaturan arah aliran berlawanan arah (counter flow) kemudian dilakukan pengamatan dan dihitung unjuk kerja termal dalam angka koefisien perpindahan panas konveksi yang dinyatakan dalam bentuk factor gesekan. Eksperimen ini dilakukan dengan variasi kecepatan aliran fluida pada air dingin dan air panas dijaga pada suhu 61°C . dari hasil eksperimen diperoleh unjuk kerja termal (coefficient heat transfer) yang dinyatakan dengan bilangan Nuselt (Nu) serta bilangan Reynolds (Re) yang maksimum dan penurunan tekanan yang dinyatakan pada $Re = 15057,74$ dan $f = 0,326$, $\epsilon = 14,5119\%$, $Nu = 81,9822$ pada $Re = 13162,011$ dan $f = 0,432$, $\epsilon = 14,5358\%$, $Nu = 79,359$ pada $Re = 12702,544$ dan $f = 0,51006$, $\epsilon = 14,8165\%$. Hasil eksperimen ini juga didapat hasil perbandingan antara unjuk kerja Alat Penukar Kalor (APK) pipa ganda aliran searah dengan aliran berlawanan dimana unjuk kerja yang lebih baik terjadi pada aliran berlawanan.

Kata Kunci : APK (Alat Penukar Kalor) Pipa Ganda, Unjuk Kerja Termal, Penurunan Tekanan, Aliran berlawanan arah.

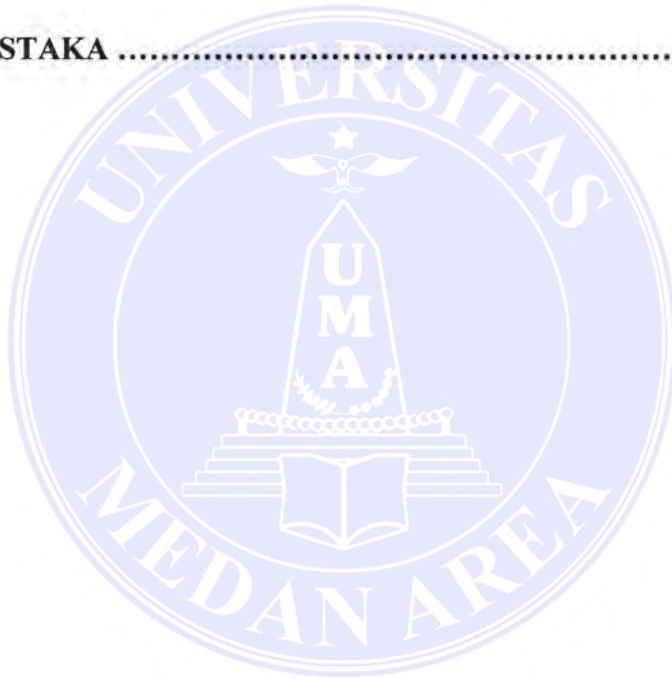


DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR ISTILAH	xi
BAB I Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Alat Penukar Kalor	6
2.1.1. Klasifikasi	7
2.2. Landasan Teori	11
2.2.1. Alat Penukar Kalor Pipa Ganda	11
2.2.2. Konstruksi Alat Penukar Kalor	13
2.2.3. Pengertian Tentang Perpindahan Panas	14
2.2.4. Laju Perpindahan Panas Secara Termodinamika	15

2.2.5. Beda Suhu Rata – rata Logaritma (LMTD).....	17
2.2.6. Aliran Fluida Didalam Annulus	17
2.2.7. Koefisien Perpindahan Panas Fluida Dalam Annulus	19
2.2.8. Penurunan Tekanan (Pressure Drop)	21
2.2.9. Penurunan Tekanan Untuk Annulus	22
2.2.10. NTU – Efektivitas	23
2.2.11. Coiled Tube Heat Exchanger	25
2.2.12. Plate-fin Heat Exchanger	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1. Jenis Penelitian	29
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3. Diagram Aliran Pelaksanaan	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Hasil	34
4.1.1. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi	35
4.1.2. Faktor Gesekan	39
4.2. Pembahasan	40
4.2.1. Perbandingan Re pada Aliran Searah dengan Re Pada Aliran Berlawanan Arah	40
4.2.2. Perbandingan Nu pada Aliran Searah terhadap Nu pada Aliran Berlawanan Arah	41
4.2.3. Perbandingan Efektivitas Pada Aliran Searah Dengan Efektifitas pada Aliran Berawnan	42

4.2.4. Perbandingan Faktor Gesekan f pada Aliran	
Searah dengan Aliran Berlawanan	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan terhadap alat penukar kalor (APK) meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi yang mendorong digiatkannya penghematan energi yang dimaksudkan untuk dilakukannya penggunaan kembali energi panas yang keluar. Dalam proses perpindahan panas terbagi dua yaitu proses perpindahan panas dilakukan secara langsung atau tidak langsung, maksudnya ialah :

1. APK yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu.
2. APK yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan lainnya.

Hal ini mengakibatkan banyak terciptanya alat penukar kalor sebagai alat yang digunakan untuk memanfaatkan kembali energi panas yang terbuang.

Panas yang terbuang akibat sebuah proses energi dapat bermacam-macam bentuknya yaitu dapat berupa gas panas, uap panas dan juga air panas. Penggunaan AKP dalam proses pemanfaatan kembali energi panas yang terbuang sangatlah tepat untuk mengurangi tingginya biaya operasional demi memenuhi kebutuhan energi.

Untuk itu perlu diketahui kemampuan alat penukar kalor dengan melakukan sebuah eksperimen yang mempergunakan air panas sebagai energi yang akan dipergunakan kembali untuk memanaskan air lebih dingin.

Dalam menganalisa yang digunakan alat penukar kalor pipa ganda sebagai alat uji dan juga pengaturan aliran fluida yang dibuat dengan arah berlawanan arah (counter flow) kemudian diamati dan dihitung unjuk kerja termal dalam angka koefisien perpindahan panas konveksi yang dinyatakan dalam bilangan Nuselt dan penurunan tekanan yang dapat dinyatakan dalam bentuk factor gesekan. Untuk itu perlu diadakan pengkajian "**Unjuk kerja Alat Penukar Kalor Pipa Ganda Dengan Arah Berlawanan (COUNTER FLOW)**", dalam melakukan penulisan ini penulis mengambil kutipan – kutipan dari Ir.T.M.Sitompul S.E.,MSc dalam bukunya Alat Penukar Kalor sebagai referensi penulisan ini. dengan adanya tulisan ini diharap para pembaca dapat menambah wawasan tentang alat penukar kalor pipa ganda dengan arah berlawanan (counter flow).

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diungkapkan diatas maka rumusan masalah dalam penelitian adalah :

1. Bagaimana mengetahui kinerja alat penukar kalor pipa ganda susunan seri yang terdiri dari dua pipa yang dirangkai sedemikian rupa yang hanya dibedakan oleh diameter
2. Bagaimana mengetahui perbedaan tekanan bila digunakan air panas yang mengalir pada pipa bagian luar (*inner tube*) dan air dingin yang mengalir

pada pipa bagian luar (*annulus*) serta fluida mengalir dengan arah berlawanan.

3. Bagaimana menghitung fluida yang berada dalam pipa sebelah dalam, air panas dengan ukuran pipa dalam 1" dan 2" diameter, serta menghitung penurunan tekanan pada *annulus*

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Pipa bagian luar (*annulus*) berdiameter 2" dan pipa bagian luar (*inner tube*) berdiameter 1"
2. Menggunakan media air panas yang mengalir pada *inner tube* dan air dingin yang mengalir pada *annulus* pada 3 (tiga) variasi laju aliran (pembukaan katub) dengan arah aliran fluida berlawanan
3. Sebagai data hasil pengujian yang diamati dan diperoleh berupa suhu air panas dan suhu air dingin keluar untuk mendapatkan unjuk kerja termal yang dinyatakan dengan koefisien perpindahan panas atau dalam bidang Nusselt dan penurunan tekanan yang dinyatakan dengan faktor gesekan

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Menganalisa alat penukar kalor pipa ganda berlawanan arah (counter flow) ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja termal dan penurunan tekanan pada alat penukar kalor pipa ganda.

1.4.2 Tujuan kusus

Mendapatkan unjuk kerja termal dalam angka koefisien perpindahan panas yang dinyakan dengan bilangan Nusselt serta penurunan tekanan yang dinyakan dengan faktor gesekan yang dipengaruhi oleh arah aliran fluida berlawanan (*counter flow*).

1.5 Manfaat

Adapun manfaat eksperimen ini ialah :

1. Mengasilkan informasi-informasi yang memadai berkaitan dengan alat penukar kalor pipa ganda untuk dijadikan pertimbangan dan pengembangan alat penukar kalor yang lebih optimal.
2. menambah wawasan dan ilmu pengetahuan serta pengalaman selama melakukan reset tentang APK.
3. Sebagai pengembangan khasanah ilmu pengetahuan tentang APK pada laboratorium Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan berisikan tentang pembahasan dari bab dan sub bab dari unjuk kerja alat penukar kalor pipa ganda dengan aliran berlawanan arah :

Bab I : PENDAHULUAN

membahas tentang latar belakang ,tujuan , permasalahan ,pembatasan masalah,manfaat, sistematika penulisan

Bab II : TINJAUAN PUSTAKA

membahas tentang pengetahuan umum alat penukar kalor, klasifikasi alat alat penukar kalor, landasan teori, AKP pipa ganda, kontruksi alat penukar kalor, pengertian tentang perpindahan panas secara termodinamika, beda suhu rata-rata logaritma, koefisien perpindahan panas didalam annulus, aliran fluida didalam annulus, penurunan tekanan, efektivitas alat penukar kalor.

Bab III : METODE PENELITIAN

membahas tentang metode penelitian, tempat dan waktu, bahan dan alat yang digunakan , pelaksanaan, variable yang digunakan.

Bab IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

membahas tentang hasil dan pembahasan, hasil perhitungan dari data eksperimen, grafik eksperimen, pembahasan, perbandingan, AKP pipa ganda aliran searah dengan aliran berlawanan.

Bab V : KESIMPULAN DAN SARAN

membahas tentang kesimpulan dan saran dari seluruh pembahasan.

Daftar Pustaka

Bagian ini berisikan tentang referensi penulis untuk membahas persoalan-persoalan dalam tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lain yang berbeda temperturnya. Proses pemindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung [1], maksudnya adalah :

1. Alat penukar kalor yang langsung ialah fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu.

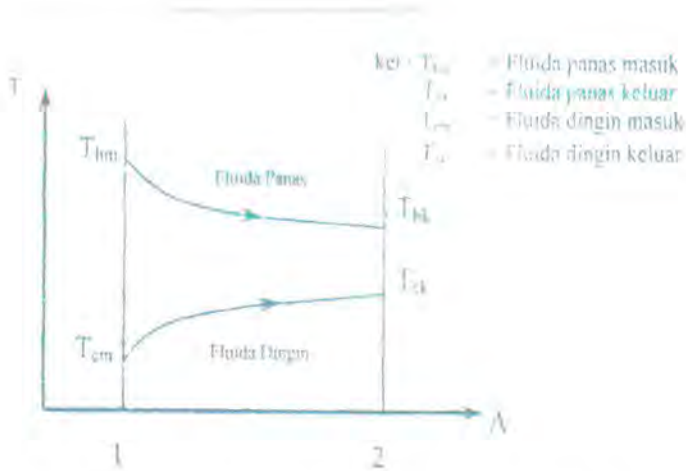
Contoh : jet condender, pesawat desuperheater pada ketel, pesawat dearator yaitu antara lain ketel dengan uap yang diinjeksikan, dan sebagainya.

2. Alat penukar kalor yang tidak langsung ialah fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin, jadi proses pemindahan panas itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan lainnya.

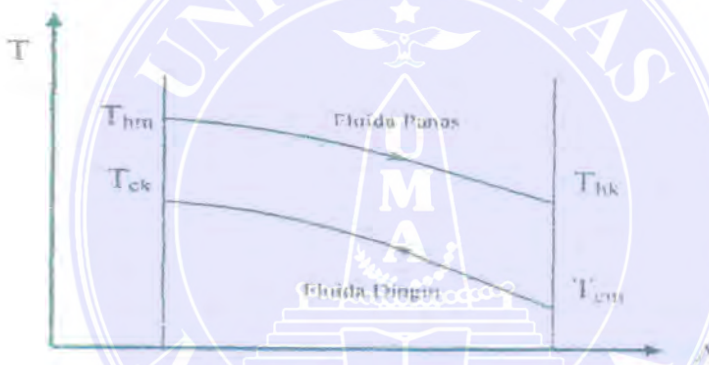
Contoh : condenser pada turbin uap, pesawat pemanas udara pembakaran (perheater) dan sebagainya .

Ditinjau dari aliran fluida pada alat penukar kalor, maka dapat dibagi dalam 3 macam aliran [1] yaitu :

- a. Aliran searah atau paralel flow (gambar 2.1)
- b. Aliran berlawanan arah atau counter flow (gambar 2.2)
- c. Aliran kombinasi, gabungan aliran searah dan berlawanan.



Gambar 2.1 Fluida dengan arah aliran searah (parallel flow) [2]



Gambar 2.2 Fluida dengan arah berlawanan (counter flow) [2]

2.1.2 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Banyaknya jenis alat penukar kalor (heat exchanger) maka dapat diklasifikasikan berdasarkan bermacam-macam pertimbangan [1], yaitu :

1. Klasifikasi berdasarkan proses pemindahan panas
 - a. Tipe kontak tidak langsung
 - Tipe yang langsung dipindahkan
 - Tipe satu fase

- Tipe banyak fase
- Tipe yang ditimbun (*storage type*)
- Tipe *fluidized bed*

b. Tipe yang kontak langsung

- *Immiscible fluids*
- *Gas liquid*
- *Liquid vapor*

2. Klasifikasi berdasarkan jumlah fluida yang mengalir. (gambar 2.3)

- a. Dua jenis fluida
- b. Tiga jenis fluida
- c. N-jenis fluida

3. Klasifikasi berdasarkan kompaknya permukaan.

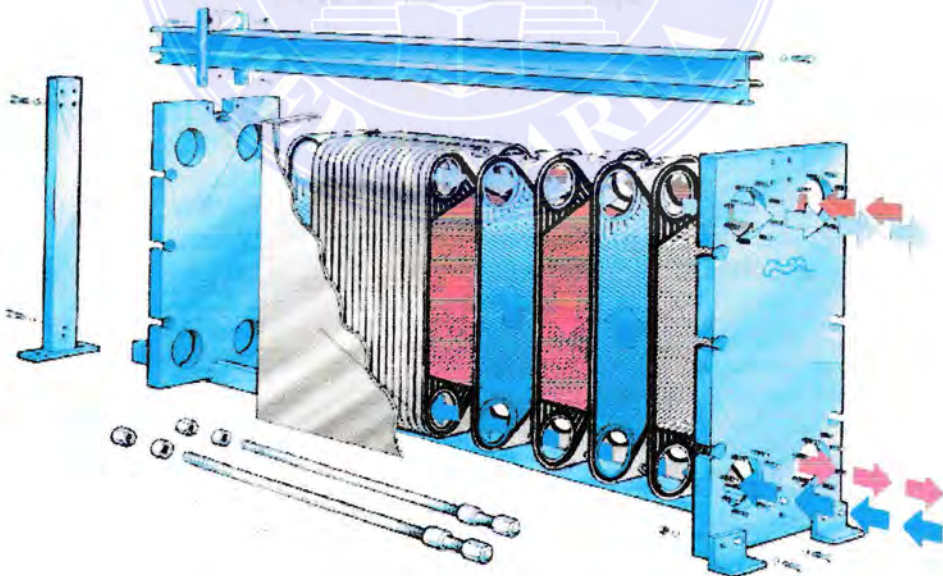
- a. Tipe penukar kalor kompak, density luas permukaannya $> 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- b. Tipe penukar kalor tidak kompak, density luas permukaan $< 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$

4. Klasifikasi berdasarkan mekanisme pemindahan panas.

- a. Dengan cara konveksi, suatu fase pada kedua sisi alirannya.
- b. Dengan cara konveksi pada satu sisi aliran dan pada sisi yang lain terhadap cara konveksi dua aliran
- c. Dengan cara konveksi pada kedua sisi alirannya serta terhadap dua pass aliran masing-masing.
- d. Kombinasi cara konveksi dan radiasi.

5. Klasifikasi berdasarkan konstruksi
- a. Konstruksi tubular (*Shell and Tube*)
 - b. Pipa ganda (*double tube*)
 - c. Konstruksi *Shell and Tube*
 - Sekat pelat (*plate baffle*)
 - Sekat batang (*rod baffle*)
 - Konstruksi *tube spiral*

- d. Konstruksi tipe plat (gambar 2.4)
 - Tipe pelat
 - Tipe lamella
 - Tipe spiral dan Tipe pelat koil



Gambar. 2.4 Alat Penukar Kalor Tipe pelat.

e. Konstruksi dengan luas permukaan diperluas (*extended surface*)

- Sirip pelat (*pelat fin*)
- Sirip tube (*tube fin*)
 - *Heat pipe wall*
 - *Ordinary separating wall*

f. Regenerative

- Tipe rotary

g. Tipe *disk* (piringan)

h. Tipe drum

i. Tipe matrix tetap

6. Klasifikasi berdasarkan pengaturan lain

a. Aliran dengan satu pass

- Aliran berlawanan arah
- Aliran parallel
- Aliran melintang
- Aliran spiral
- Aliran yang dibagi

b. Aliran multi pass

- Aliran *counter* menyilang
- Aliran *parallel* menyilang
- Aliran *compound*

c. *Shell and tube*

- Aliran *parallel* yang berlawanan (M pass pada *shell* dan N pass *tube*)
- Aliran split
- Aliran dibagi (*divided*)

d. Multipass pelat.

e. *N-paralel* pelat multipass

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Alat Penukar Kalor Pipa Ganda

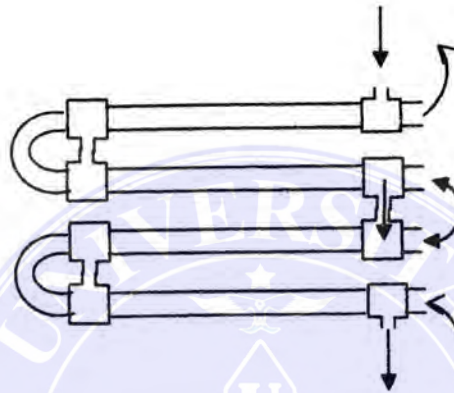
Alat penukar kalor jenis ini menggunakan dua macam pipa yang diameternya tidak sama. Pada konstruksi APK pipa ganda ini terhadap pipa didalam yang disebut inner tube dan pipa diluar yang sebut annulus (annuli) serta pipa yang bengkok disebut return bend.

Agar dapat menerima atau melepaskan panas dengan cepat adakalanya pipa sebelah dalam (inner tubes) terdiri dari pipa bersirip (finned tubes) dengan maksud memperbesar luas permukaanya. Pada bagian return bend merupakan bagian pada penukar kalor yang tidak efektif karena sering terjadi kebocoran, untuk mencegah hal tersebut maka system pengikat dibuat gasket karet atau asbes. Ukuran pipa yang efektif biasanya dari 12, 15 atau 20 ft [1].

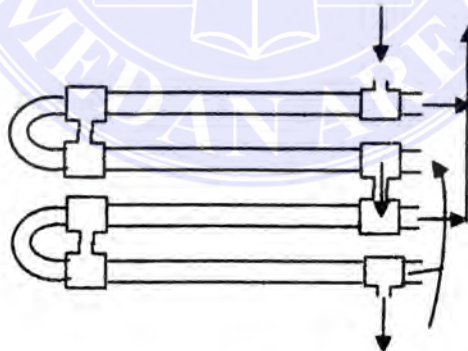
Ditinjau dari segi kebutuhan operasi, maka alat penukar kalor ini dapat difabrikasikan sebagai berikut :

1. Alat penukar kalor pipa ganda susunan seri
2. Alat penukar kalor pipa ganda susunan seri paralel

Pada konstruksi susunan seri, maka fluida didalam tube sebelah dalam (inner tube) maupun yang diluar (annulus) aliran satu lintasan tanpa cabang. Sedangkan alat penukar kalor susunan seri \square arallel didalam tube sebelah dalam dan fluida annulus masing-masing mempunyai cabang, seperti pada gambar 2.5 dan 2,6 [1]



Gambar 2.5 Alat penukar kalor pipa ganda susunan seri



Gambar 2.6 Alat penukar kalor pipa ganda susunan seri paralel

Masalah utama dalam pemakaian alat penukar kalor jenis ini adalah menentukan fluida mana yang harus dialirkan dalam tube sebelah dalam (inner tubes) dan

mana yang mengalir pada annulus tube. Mengatasi hal ini biasanya fluida yang

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/8/23

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)29/8/23

lewat cukup banyak dilewatkan melalui tube yang berpenampang besar. Pada tabel 2.1 diperlihatkan ukuran tube alat penukar kalor pipa ganda serta diameter ekivalennya.

Tab 2.1 Luas aliran dan diameter ekivalen tube alat penukar kalor pipa ganda [1]

No	Tube	Luas aliran (in ²)		Annulus, in	
		Annulus	Tube	de	De
1	2 x 1 ¼	1,19	1,50	0,915	0,40
2	2 ½ x 1 ¼	2,63	1,50	2,02	0,81
3	3 x 2	2,93	3,35	1,57	0,69
4	4 x 3	3,14	7,38	1,14	0,53

2.2.2 Konstruksi Alat Penukar Kalor Pipa Ganda

Ditinjau dari segi konstruksinya alat penukar kalor jenis pipa ganda, maka secara umum konstruksinya dibagi dalam 3 bagian yaitu :

1. Pipa bagian dalam yang disebut inner tubes
2. Pipa bagian luar yang disebut annulus (annuli)
3. Bagian ujung pipa yang bengkok yang disebut return ben

2.2.3 Pengertian Tentang Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau kalor adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material.

Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu tempat ketempat lain atau dengan kata lain panas hanya dapat berpindah dari satu benda kebenda lain apabila terdapat perbedaan temperature diantara kedua benda tersebut. Maka dapat kita simpulkan bahwa perbedaan temperatur merupakan potensial pendornng bagi proses perpindahan panas.

Perpindahan panas pada umumnya mengenal 3 (tiga) cara, adapun cara perpindahan panas tersebut adalah :

1. Perpindahan panas konduksi (Conduction)

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas melalui pengantar panas dengan adanya perbedaan suhu. Perpindahan panas ini terjadi pada benda yang padat atau statis. Laju perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus fourier [3], yaitu :

$$q = -k \cdot A \frac{dt}{dx} \quad (2 - 1)$$

Dimana ; q = laju perpindahan panas konduksi (W)

k = konduksi panas (W/m . k)

A = luas daerah perpindahan panas (m²)

$\frac{dt}{dx}$ = gradient suhu (laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam aliran panas)

2. Perpindahan panas konveksi (konveksi)

Perpindahan panas secara konveksi adalah proses perpindahan panas melalui fluida, maka fluida tersebut akan menghantar panas keseluruhan bagian fluida. Perpindahan fluida panas secara konveksi dapat diasumsikan menjadi dua golongan yaitu :

1. Konveksi alami adalah perpindahan panas hantaran fluida secara alami
2. Konveksi paksa (*forced convection*) adalah perpindahan panas konveksi dengan menggunakan media pembantu untuk lebih mempercepat laju aliran fluida.

Laju perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung dengan menggunakan hukum Newton tentang pendinginan [3], yaitu :

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2-2)$$

Dimana : h = koefisien perpindahan panas secara konveksi
(W/m^2C)

A = luas perpindahan kalor (m^2)

ΔT = beda suhu ($^{\circ}C$)

2.2.4 Laju Perpindahan Panas Secara Termodinamika

Besarnya panas yang dilepaskan fluida panas

$$Q_h = \dot{m}_h \times C_{p_h} \times \Delta T_h \quad (2-3)$$

$$Q_h = \dot{m}_h \times C_{p_h} \times (T_{h_i} - T_{h_o})$$

Dimana : Q_h = panas yang dilepaskan fluida panas (W)

\dot{m}_h = laju aliran fluida (kg/s)

C_{p_h} = temperatur fluida masuk ($^{\circ}\text{C}$)

Th_o = temperature fluida keluar ($^{\circ}\text{C}$)

Temperatu rata-rata fluida panas (air) secara termodinamika (Th).

$$Th = \frac{Th_i + Th_o}{2} \quad (2-4)$$

Besarnya panas yang diserap fluida dingin

$$Q_c = \dot{m}_c \times C_{p_c} \times \Delta T_c \quad (2-5)$$

$$Q_c = \dot{m}_c \times C_{p_c} \times (T_{c_i} - T_{c_o})$$

Dimana : Q_c = panas yang diserap fluida dingin (W)

\dot{m}_c = laju aliran air (kg/s)

C_{p_c} = panas jenis air (j/kg.k)

T_{c_i} = temperatur air masuk ($^{\circ}\text{C}$)

T_{c_o} = temperatur air keluar ($^{\circ}\text{C}$)

Temperatur rata-rata fluida dingin (air) secara termodinamika (Tc)

$$Tc = \frac{T_{c_i} + T_{c_o}}{2} \quad (2-6)$$

2.2.5 Beda Suhu Rata-rata Logaritma (LMTD)

Sebelum menentukan luas permukaan panas alat penukar kalor maka terlebih dahulu ditentukan nilai dari T_{lm} . Ini dihitung berdasarkan selisih temperatur dari fluida yang masuk dan keluar dari alat penukar kalor baik aliran searah maupun aliran berlawanan.

Selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) atau T_{lm} dapat dihitung dengan formula [4] berikut :

$$LMTD = \frac{(Th_i - Tc_o) - (Th_o - Th_i)}{\ln \frac{(Th_i - Tc_o)}{(Th_o - Tc_i)}} \quad (2-7)$$

Dimana : ΔT_{LM} = LMTD (Log mean Temperatur Difference)

Th_i = suhu air panas masuk ($^{\circ}C$)

Th_o = suhu air panas keluar ($^{\circ}C$)

Tc_i = suhu air dingin masuk ($^{\circ}C$)

Tc_o = suhu air dingin keluar ($^{\circ}C$)

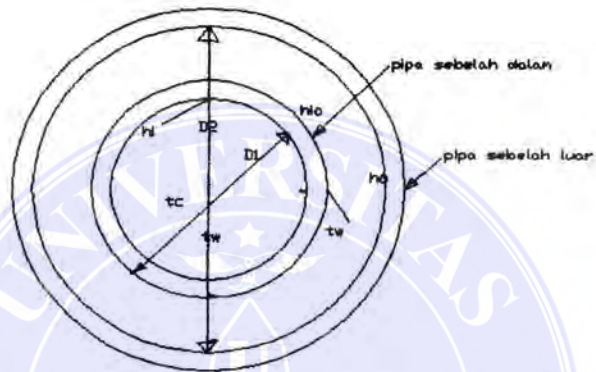
2.2.6 Aliran Fluida Didalam Annulus

Apabila ada fluida mengalir didalam conduit yang tidak sirkular, maka koefisiensi perpindahan panas dan factor gesekannya dapat dihitung seperti pipa [1].

Untuk perpindahan panas pada annulus, dapat dinyatakan dengan diameter ekivalen (D_e) dimana D_e adalah 4 kali jari-jari hidrolis. Jari-jari hidrolis dari

pembandingan luasan aliran (flow area) dengan batas pinggir yang basah (wetted perimeter).

Untuk aliran annulus luasnya adalah $= \pi / 4 (D_2^2 - D_1^2)$, sedangkan besarnya batas pinggir yang basah berbeda untuk perhitungan perpindahan panas dan perhitungan penurunan tekanan ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2.7 Diameter annulus dan lokasi koefisien perpindahan panas

Untuk perhitungan perpindahan panas, besarnya batas pinggir yang basah adalah diameter luar pipa sebelah dalam (D_1). Maka besarnya diameter ekuivalen adalah :

$$D_e = 4 \cdot r_h = \frac{4x.luas.aliran}{batas.pinggir.yang.basah}$$

$$= \frac{4x(\pi/4)(D_2^2 - D_1^2)}{\pi \cdot D_1} = \frac{4 \cdot \pi(D_2^2 - D_1^2)}{4\pi \cdot D_1}$$

$$D_e = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} \quad (2-8)$$

Dimana : D_2 = diameter dalam pipa sebelah luar

D_1 = diameter dalam pipa sebelah dalam

Selanjutnya untuk jatuh tekanan, perhitungan gesekan tidak hanya tahanan pipa sebelah luar saja, tetapi juga pengaruh permukaan bagian luar dari pipa sebelah dalam. Dengan demikian batas yang basah untuk jatuh tekanan adalah sebesar $\pi/4 (D_2^2 - D_1^2)$. Diameter ekuivalen untuk penurunan tekanan adalah :

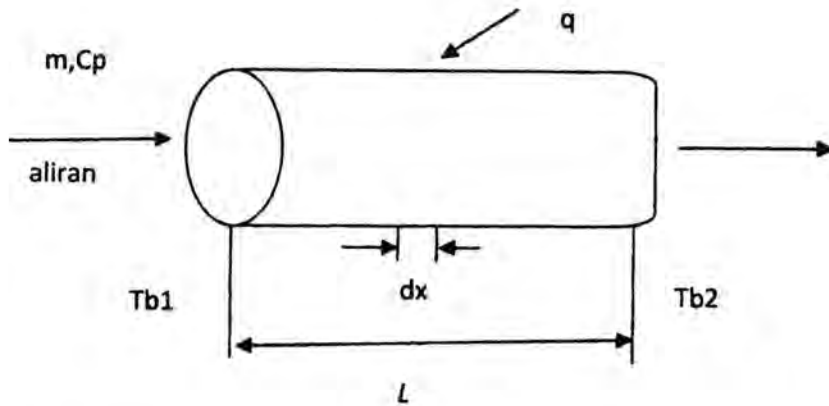
$$D_e = \frac{4 \times \text{luas.aliran}}{\text{batas.pinggir.yang.basah}} = \frac{4 \cdot (\pi/4)(D_2^2 - D_1^2)}{4 \cdot \pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)} = D_2 - D_1 \quad (2-9)$$

2.2.7 Koefisien Perpindahan Panas Fluida didalam Annulus

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas fluida dalam annulus konsep suhu limbak (*Bulk Temperatur*) yang melibatkan aliran dalam saluran tertutup. Suhu limbak menunjukkan energi rata-rata atau kondisi mangkuk pencampur [2]. Pada gambar 2.8 ditunjukkan energi total yang ditambahkan dapat dinyatakan dengan beda suhu limbak.

$$q = \dot{m} C_p (T_{b2} - T_{b1}) \quad (2-10)$$

dengan syarat C_p sepanjang aliran itu tetap. Kalor dq yang ditambahkan dalam panjang diferensial dx dapat dinyatakan dengan beda suhu limbak atau dengan koefisien perpindahan kalor h yang ditunjukkan pada gambar 2.9



Gambar 2.8 perpindahan kalor menyeluruh dinyatakan dengan beda suhu limbak.

$$dq = m Cp dT_b = h (2 \pi r) dx (T_w - T_b) \quad (2-11)$$

Dimana T_w dan T_b masing-masing adalah suhu dinding dan suhu limbak pada posisi x tertentu. Perpindahan kalor total dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = h A (T_w - T_b)_{av} \quad (2-12)$$

dimana A adalah luas permukaan perpindahan kalor. Oleh karena T_w maupun T_b mungkin berubah sepanjang tabung, maka kita harus menggunakan suatu proses perata-rataan yang tepat digunakan dalam persamaan diatas.

Untuk aliran turbulen yang sudah jadi atau berkembang penuh (*fully development turbulent flow*) dalam tabung licin, oleh dieltus dan boelter didasarkan persamaaan berikut :

$$Nu_d = 0,023 Re_d^{0,8} Pr^n \quad (2 - 13)$$

Untuk persamaan ini sifat-sifat ditentukan pada suhu fluida limbak, dan nilai eksponen n adalah sebagai berikut :

$$n = 0,4 \text{ untuk persamaan}$$

$$= 0,3 \text{ untuk persamaan}$$

Persamaan diatas berlaku untuk aliran turbulen yang tidak berkembang sepenuhnya didalam tabung licin, dengan fluida yang angka prandtl nya berkisar antara 0,6 sampai 100, dan dengan beda suhu moderat antara dinding fluida

2.2.8 Penurunan Tekanan (Pressure Drop)

Untuk dapat menghitung besarnya penurunan tekanan (ΔP), maka terlebih dahulu harus diketahui panjang lintasan aliran [1]

1. Besarnya koefisien gesek diperoleh dengan formula berikut :

Formula Hagen – Poiseuille yaitu :

$$f = \frac{16}{(D.G/\mu)} \text{ atau } f = \frac{16}{R_e} \quad (2 - 14)$$

keadaan berada sebelah kiri dari aliran dari aliran turbulen dengan formula dari Drew, koo dan Mc. Adam dengan variasi 5 %.

$$f = \frac{0,00140 + 0,125}{(D.G/\mu)^{0,32}} \quad (2 - 15)$$

untuk aliran turbulen melalui tube, maka dipergunakan formula dari Wilson, Mc.adam dan Seltzer dengan variansi 10 %.

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{(D.G / \mu)^{0,42}} \quad (2-16)$$

Dari hasil fabrikasi permukaan tube lebih halus dari pada pipa, sehingga penurunan tekanan pada tube akan lebih kecil dari pada penurunan tekanan pada pipa, terhadap hubungan bilangan Reynolds (R_e) dengan factor kerugian gesekan f , pada aliran laminar dan aliran turbulen.

Sehingga kecepatan fluida pada peralihan laminar ke turbulen adalah :

$$U = \frac{2300 \cdot \mu}{D \cdot \rho}$$

$$\Delta F_p = \frac{4 \cdot f \cdot G^2 \cdot L}{(2g \cdot \rho^2 D)} \quad (ft)$$

$$\frac{\Delta F_p \rho}{144} = \Delta P_p \quad (\text{Psi})$$

2.2.9 Penurunan Tekanan pada Annulus

1. Menentukan nilai $D_e = \frac{4\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4\pi(D_2 - D_1)} = (D_2 - D_1)$

Kemudian menentukan bilangan Reynolds dengan menggunakan D_e .

$$\Delta R_{ca} = (D_e - G_a) / \mu$$

Dari grafik antara bilangan Re_a dengan koefisien gesek f akan diperoleh nilai f tersebut.

$$\Delta F_a = \frac{4fG^2.L}{2g.\rho^2.D_e}$$

2. Kerugian saat fluida masuk dan keluar adalah merupakan head kecepatan setiap hairpin (pipa penukar kalor yang berbentuk U) yaitu :

$$\Delta F_1 = V^2 / 2g \text{ (ft / Hairpin)}$$

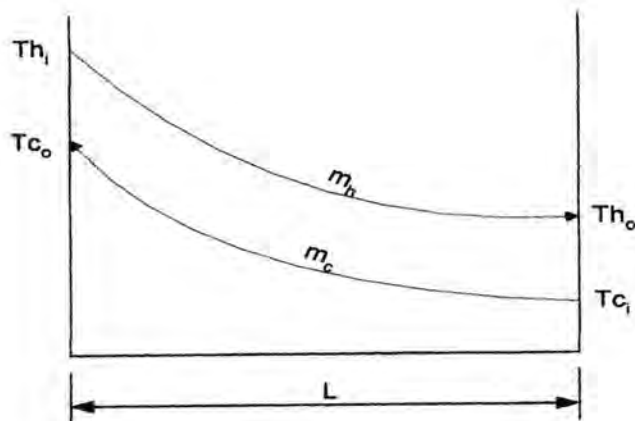
$$(\Delta F_a + \Delta F_1) . \rho / 144 = \Delta P_a \text{ (Psi)}$$

2.2.10 NTU Efektifitas

Hubungan antara NTU dengan efektifitas merupakan salah satu hal sangat penting dalam mendesain AKP. Hal ini disebabkan karena kedua belah parameter tersebut merupakan karakteristik unjuk kerja sebuah AKP [2]. Pada gambar 2.11

Dibawah berikut merupakan distribusi suhu berdasarkan kalor yang dipindahkan kefluida dingin harus sama dengan kalor yang diserahkan oleh fluida panas pada persamaan 2.19 :

$$Q = \dot{m}_c . Cp_c (Tc_o - Tc_i) = \dot{m}_h . Cp_h (Th_i - Th_o) \quad (2 - 17)$$



Gambar 2.9 Distribusi suhu

Dengan mengasumsikan fluida panas yang mempunyai laju kapasitas panas minimum

($\dot{m}_h \cdot C_{p_h} = C_{\min}$), maka laju perpindahan kalor maksimum dapat ditulis :

$$Q_{\max} = C_{\min} (Th_i - Tc_i) \quad (2-18)$$

Efektifitas AKP didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan kalor aktual dengan laju perpindahan kalor total.

$$\varepsilon = \frac{Q_{akt}}{Q_{tot}} = \frac{Th_i - Th_o}{Th_i - Tc_i} \quad (2-19)$$

atau,

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_h \cdot C_{p_h} (Th_i - Th_o)}{\left[\dot{m} \cdot C_p \right]_{\min} \cdot (Th_i - Tc_i)} = \frac{\dot{m}_c \cdot C_{p_c} (Tc_o - Tc_i)}{\left[\dot{m} \cdot C_p \right]_{\min} \cdot (Th_i - Tc_i)}$$

sehingga laju perpindahan kalor menjadi :

$$Q = \varepsilon \cdot C_{\min} (Th_i - Tc_i) \quad (2-20)$$

Dari hasil persamaan akan diperoleh *Number of Transfer Unit* (NTU) :

$$NTU = \frac{U_o \cdot A_{tot}}{C_{\min}} \quad (2-21)$$

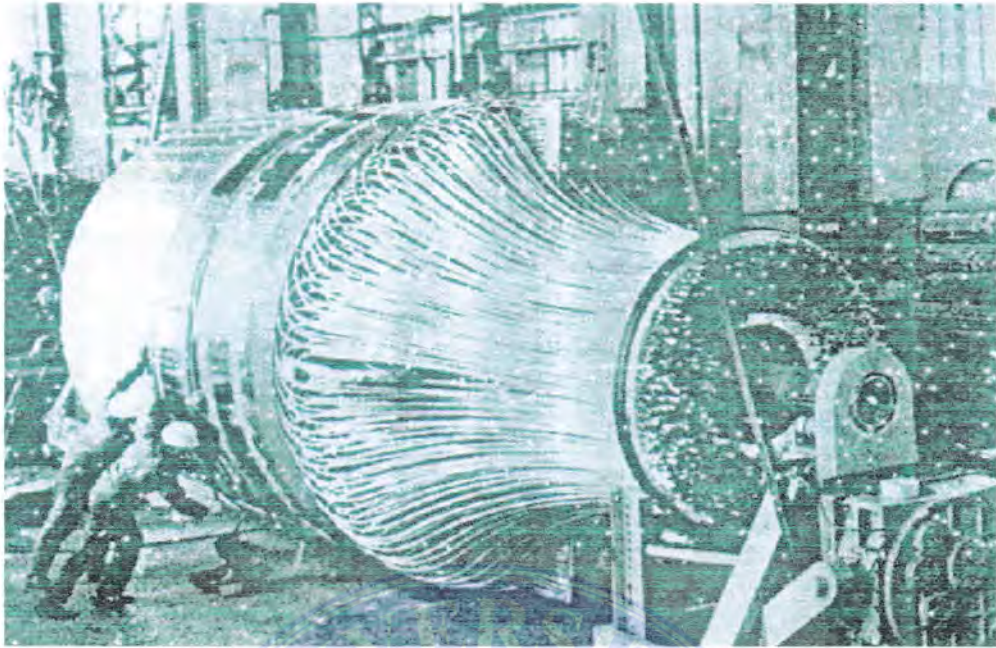
Nilai NTU tersebut dapat disubstitusikan untuk memperoleh efektifitas APK dengan aliran *counter flow*, sehingga efektifitas APK menjadi :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU\left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]}{1 - \left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right) \exp\left[-NTU\left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]} \quad (2-22)$$

dengan $C_{\min} = m_h \cdot Cp_h$ dan $C_{\min} = m_c \cdot Cp_c$

2.2.11 Coiled tube heat exchanger

HE jenis ini disusun dari tabung-tabung (tubes) dengan jumlah besar mengelilingi tabung inti, dimana setiap HE terdiri dari lapisan-lapisan tabung sepanjang arah aksial maupun radial. Aliran tekanan tinggi diberikan pada tube diameter kecil, sementara untuk tekanan rendah dialirkan pada bagian luar tube diameter kecil. Contoh alat HE Coiled Tube dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 2.10 Coiled-tube HE dengan area perpindahan panas seluas $12,000 \text{ m}^2$

HE jenis ini memiliki keuntungan untuk kondisi suhu rendah antara lain:

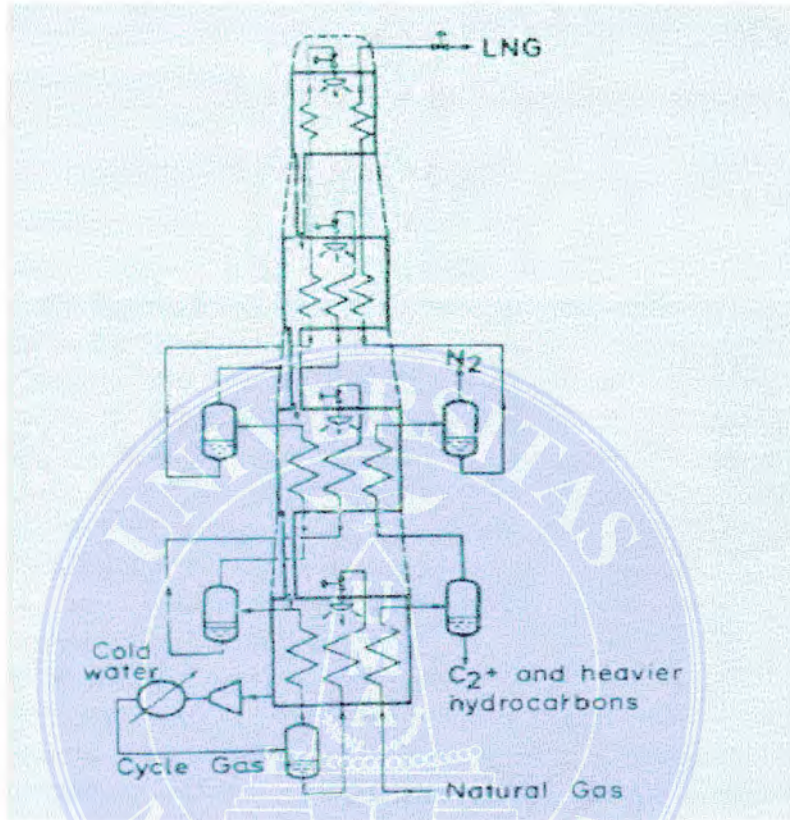
1. Perpindahan kalor dapat dilakukan lebih dari dua aliran secara simultan.
2. Memiliki jumlah unit Heat transfer yang tinggi
3. Dapat dilakukan pada tekanan tinggi.

Geometri HE Coiled Tube sangat bervariasi, tergantung pada kondisi aliran dan drop pressure yang dibutuhkan. Parameter yang berpengaruh antara lain: kecepatan aliran pada shell dan tube, diameter tube, jarak antar tube (tube pitch), layer spacer diameter. Faktor lain yang juga harus diperhitungkan yaitu jumlah fasa aliran, terjadinya kondensasi dan evaporasi pada shell atau tube.

Aplikasi HE Coiled Tube untuk skala besar telah banyak diterapkan pada

LNG Plant, dimana alat HE ini memiliki kapasitas $100,000 \text{ m}^3/\text{h}$ pada 289 K dan

0.101 Mpa. Luas permukaan heat transfer 25,000 m² dan panjang keseluruhan 61 m, diameter 4.5 m dan berat 180 ton. Gambar Skematik alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.5.

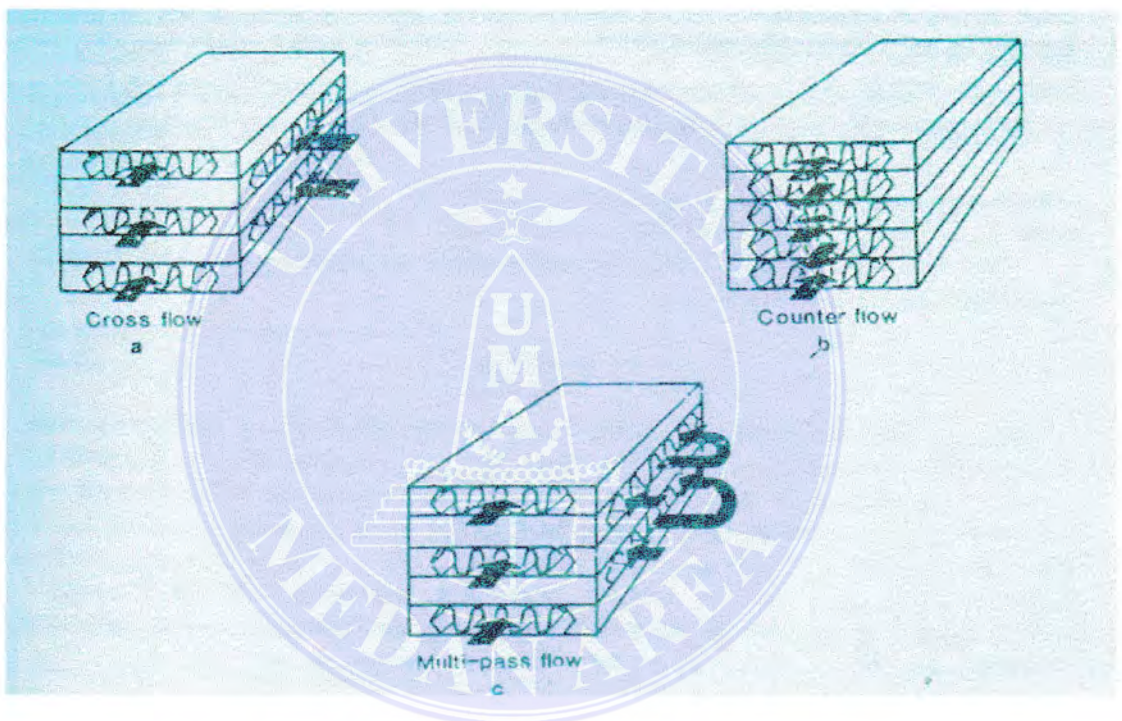


Gambar . 2.11 Skema HE Coiled Tube yang Digunakan Pada LNG Plant

2.2.12 Plate-fin heat exchanger

HE Plat-Fin umumnya mempunyai susunan plat alumunium bergelombang dimana aliran-aliran panas/dingin dialirkan pada celah gelombang tersebut. Setiap lapisan gelombang dibatasi dengan plate pemisah (separator plate). Bentuk Plat-Fin ini sembilan kali lebih lebih kecil dibanding HE Shell & tube konvensional untuk luas permukaan yang sama. Tekanan operasi dapat mencapai 6 MPa pada suhu 4 hingga 340 K. Gambar 5.6 menggambarkan skema sederhana Plate-Fin

HE dan pola aliran. Untuk dapat melakukan multi aliran dan multi arah aliran, maka Plate-Fin harus dilengkapi dengan Internal seal, distributor, dan external header. Untuk tipe cross flow akan sesuai jika harga beda suhu rata-rata efektif pada aliran silang dan harga LMTD nya tidak berbeda jauh. Tipe ini banyak didapat pada liquefiers (pencairan), hanya sedikit terjadi perbedaan suhu pada sisi kondensing dan aliran gas yg besar pada sisi panas.



Gambar 2.12 Beberapa susunan aliran pada plate-fin heat exchanger

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah :

3.1.1. Studi Pustaka

Untuk mendapatkan gambaran teoritis yang berhubungan dengan *Alat penukar kalor pipa ganda dengan aliran berlawanan arah (counter flow)*

3.1.2. Studi Lapangan

Untuk mengetahui secara actual dan kongkrit tentang APK (Alat Penukar Kalor), jenis pipa ganda dengan aliran berlawanan arah.

3.1.3. Analisa

Suatu proses penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan gambaran atau kesimpulan akhir dari data lapangan yang diperoleh.

3.2. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

3.2.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian

- Penelitian ini dilaksanakan setelah tanggal pengesahan usulan oleh pengelola Program Studi Teknik Mesin sampai dinyatakan selesai.
- Penelitian ini serta kegiatan menganalisa dilakukan di PT.Lowsum (Sumatra Utara), rumah, rental, dan perpustakaan.

3.2.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama dua bulan, terhitung sejak bulan April 2010 sampai dengan bulan Juli 2010

3.2.3. Tabel Kegiatan

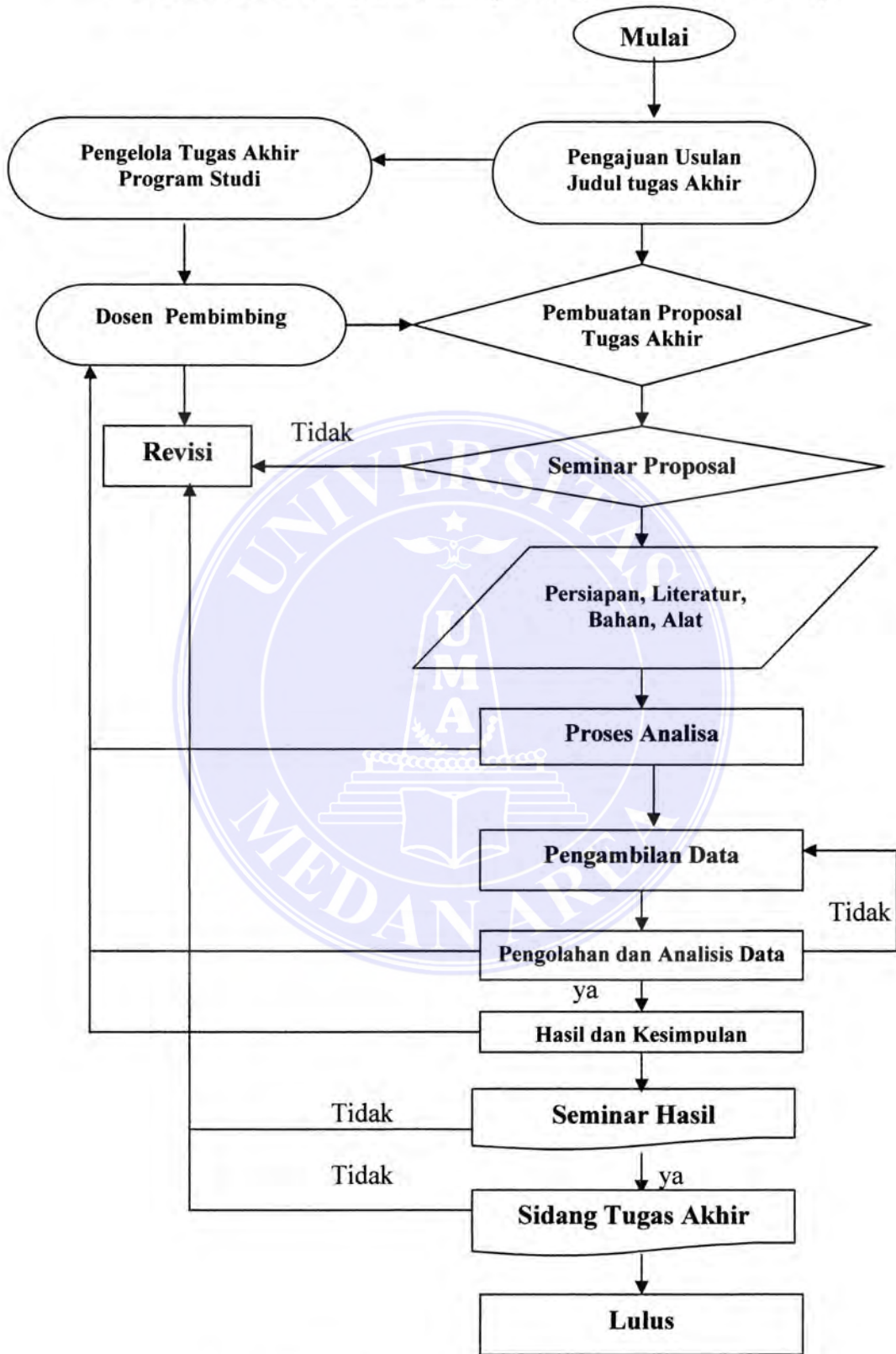
Analisa ini direncanakan selesai mulai dari persiapan hingga selesai dalam waktu enam bulan. Agar tugas akhir ini dapat dilakukan dengan baik maka dibuatlah/disusun suatu jadwal pelaksanaan seperti di bawah ini:

Table 3.1. kegiatan menunjukkan jadwal kegiatan dalam bentuk tabel

No	Kegiatan	Bulan					
		4	5	6	7	8	9
1	Persiapan :- Tentative Usulan Analisa	■					
2	proposal	■					
3	Seminar Proposal	■					
4	Persiapan: - Literatur, - Bahan - Alat		■				
5	Proses Analisa Data,		■	■			
6	Pengambilan Data dan Pengolahan dan Analisis Data			■	■		
7	Hasil dan Simpulan				■		
8	Penyusunan/Pembuatan Laporan					■	
9	Seminar Hasil						■
10	Perbaikan, Penyempurnaan Tugas Akhir						■
11	Sidang Tugas Akhir (Meja Hijau)						■

3.3 Diagram Alir

Pelaksanaan analisa seperti terlihat pada diagram alir (Gambar 3.1)



Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Pengajuan Usulan Judul Tugas Akhir

Judul diambil sesuai kemampuan / pemahaman tentang APK (Alat Penukar Kalor), setelah pengajuan judul diterima dilanjutkan dengan pembuatan proposal untuk salah satu syarat seminar proposal

3.3.2 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk mendapatkan gambaran secara teoritis mengenai Alat Penukar Kalor pipa ganda dengan aliran berlawanan arah (counter flow).

3.3.3. Pengambilan Data

- Data – data yang dikumpulkan melalui peninjauan lapangan terhadap objek penelitian
- Perhitungan – perhitungan mengenai APK (Alat Penukar Kalor), perbedaan temperatur rata – rata, perhitungan annulus dengan diameter 2” dan 1”.
- Pengambilan Gambar bentuk APK (Alat Penukar Kalor) jenis pipa ganda

3.3.4. Hasil dan Kesimpulan

- Setelah selesai melakukan penelitian diperoleh beberapa kesimpulan dan saran – saran dalam menganalisa APK (Alat Penukar Kalor).
- Data – data yang diperoleh disajikan dalam bentuk teks atau gambar, analisa dilakukan secara kuantitatif, yaitu dengan menggunakan rumusan – rumusan atau persamaan – persamaan yang berlaku.

3.3.5 Seminar Hasil dan Sidang Tugas Akhir

- Dalam seminar hasil dilihat hasil dari riset atau penelitian bila dalam penulisan ataupun banyak terdapat kesalahan akan direvisikan kembali oleh dosen pembimbing.
- Setelah skripsi selesai dan tidak ada kesalahan lagi akan diadakan sidang Tugas Akhir dan menentukan kelulusan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

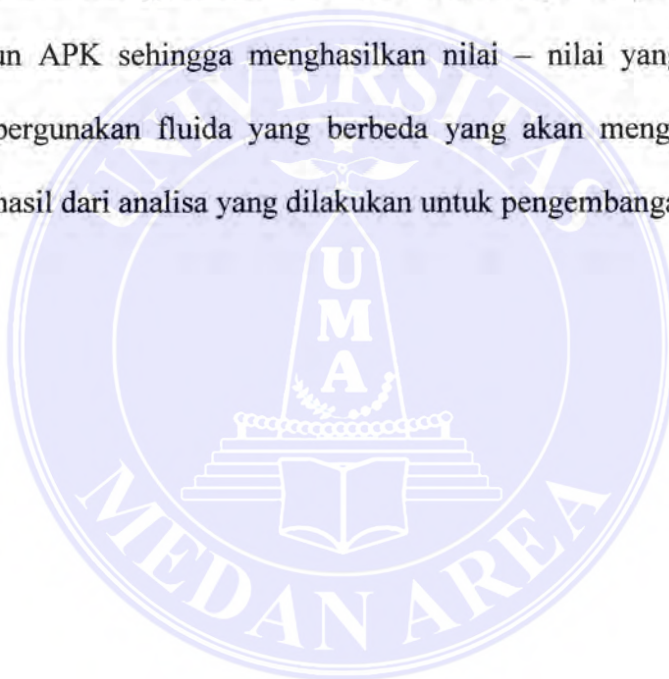
Dari hasil analisa dan pembahasan data yang diperoleh pada saat riset ini, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. koefisien perpindahan kalor konveksi yang dinyatakan dengan bilangan Nu yang mencerminkan unjuk kerja termal ternyata lebih besar terjadi pembukaan katup penuh yang mencatat angka tinggi yaitu $Nu = 88$.
2. Efektivitas tertinggi pada alat penukar kalor ini terjadi pada awal pembukaan katup seperempat, hal ini dikarenakan nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami suhu maksimum yang terdapat dalam penukar kalor yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin, maka dalam hal ini fluida yang mungkin mengalami beda suhu maksimum ialah laju alirannya lebih kecil dimana $mc = 0,42 \text{ } \varepsilon = 14,5119 \%$, $mc = 0,229 \text{ } \varepsilon = 14,5358 \%$, $mc = 0,219 \text{ } \varepsilon = 14,8615 \%$
3. Dari hasil pengolahan data, hasil analisa menunjukkan bahwa bilangan Re meningkat maka Nu akan meningkat, f meningkat maka Nu akan menurun, Re meningkat maka f meningkat. Dari hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan teori – teori yang ada.

4. Hasil perbandingan antara hasil analisa perhitungan pada fluida aliran searah dengan fluida aliaran berawanan menjukan kerja termal terbaik diadapatkan pada alat penukar kalor aliaran berlawan arah.

5.2. Saran

Untuk kelnajutan pengkajian alat penukar kalor pipa ganda, disarankan menggunakan sfesifikasi sesuai rujukan pada buku rancang bangun APK sehingga menghasilkan nilai – nilai yang optimum serta mempergunakan fluida yang berbeda yang akan menghasilkan rujukan baru hasil dari analisa yang dilakukan untuk pengembangan selanjutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- (1). Sitompul, Tunggal M, Alat Penukar Kalor, Edisi 1. cet 1. PT Raja Grafindo Persada
- (2). Holman, J.P, Perpindahan Kalor, Penerbit Erlangga, (2000)
- (3). Kreith, Frank, Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas, Penerbit Erlangga, (2000)
- (4). Kern, D.Q, Proses Heat Transfer. 2 edition, Mc Graw Hill Book Company Inc, Tokyo, (1983)
- (5). Koestoer, Raldi Artono, Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik, Penerbit Salemba Teknik, Jakarta (2002)
- (6). Raswari, Teknologi dan Perencanaan system Perpipaan, Penerbit Universitas Indonesia (UI – Press 1986)