

SKRIPSI

ANALISIS EFEKTIVITAS *HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE* MENGGUNAKAN *CFD*

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD ILHAM NUR
D091 19 1081**



**PROGRAM STUDI SARJANA
TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS EFEKTIVITAS *HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE* MENGGUNAKAN *CFD***

Disusun dan diajukan oleh

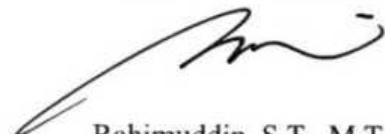
**MUHAMMAD ILHAM NUR
D091191081**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 18 Maret 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Andi Hasni Sitepu, S.T., M.T
NIP: 19770217 200112 1 001
Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 19710825 199903 1 002
Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng
NIP: 19810211 200501 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Muhammad Ilham Nur

NIM : D091191081

Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS EFEKTIVITAS *HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE* MENGGUNAKAN *CFD*”

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Maret 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Ilham Nur



ABSTRAK

MUHAMMAD ILHAM NUR. *Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD.* (dibimbing oleh Andi Husni Sitepu, S. T., M. T. dan Rahimuddin, S. T., M. T., Ph. D.)

Heat exchanger type shell and tube merupakan alat penukar kalor yang banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, kemudahan dari segi perawatan dan terhitung ekonomis. Salah satu industri perkapalan yang mengaplikasikan *heat exchanger type shell and tube* adalah KM. Sirimau sebagai *oil cooler* untuk mendinginkan *oil*. *Oil* menjadi hal yang sangat penting dalam operasional permesinan kapal karena merupakan lapisan pelindung untuk memisahkan dua permukaan pada mesin yang saling bergesekan. Kenaikann suhu *oil* dapat menurunkan efisiensi kerja yang dapat berakibat fatal pada bagian permesinan. Sehingga perlunya pengkajian mengenai *oil cooler* khususnya *heat exchanger type shell and tube* agar suhu *oil* dapat dipertahankan pada suhu tertentu. Analisis dilakukan menggunakan *ANSYS* untuk mengetahui selisih temperatur rata-rata logaritmik dan efektivitas *heat exchanger* dengan variasi tekanan pada *fresh water*. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *ANSYS CFX*, pada tekanan 2,2 bar diperoleh selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) sebesar 31,221 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,73% dan efektivitas hasil perhitungan 63,29%. Pada tekanan 2,3 bar diperoleh nilai LMTD sebesar 31,341 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,47% dan efektivitas hasil perhitungan 62,27%. Pada tekanan 2,4 bar nilai LMTD sebesar 31,444 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,24% dan efektivitas hasil perhitungan 61,31%.

Kata kunci: *Heat Exchanger Type Shell and Tube, oil, tekanan.*



ABSTRACT

MUHAMMAD ILHAM NUR. *Analysis of the Effectiveness of Heat Exchanger Type Shell and Tube Using CFD. (supervised by Andi Husni Sitepu, S. T., M. T. and Rahimuddin, S. T., M. T., Ph. D.)*

Heat exchanger type shell and tube is a heat exchanger device that is widely used because it has a simple, sturdy construction, is easy to maintain and is relatively economical. One of the shipping industries that applies heat exchanger type shell and tube is KM. Sirimau as an oil cooler to cool oil. Oil is very important in ship machinery operations because it is a protective layer to separate two surfaces on the machine that rub against each other. An increase in the temperature of the oil can reduce work efficiency which can have fatal consequences for machine parts. So it is necessary to study oil coolers, especially heat exchanger type shell and tube so that the temperature of the oil can be maintained at a certain temperature. Analysis was carried out using ANSYS to determine the difference in logarithmic average temperature and heat exchanger effectiveness with variations in pressure in fresh water. Based on the simulation results conducted using ANSYS CFX, at a pressure of 2.2 bar, a logarithmic mean temperature difference (LMTD) difference of 31.221 °C was obtained with a simulation effectiveness of 65.73% and a calculation effectiveness of 63.29%. At a pressure of 2.3 bar, an LMTD value of 31.341 °C was obtained with a simulation effectiveness of 65.47% and a calculation effectiveness of 62.27%. At a pressure of 2.4 bar, the LMTD value was 31.444 °C with a simulation effectiveness of 65.24% and a calculation effectiveness of 61.31%.

Key words: *Shell and Tube type Heat Exchanger, oil, pressure.*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
KATA PENGANTAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sistem Pendingin	4
2.2 <i>Lubricating Oil</i>	5
2.3 <i>Lubricating Oil Cooler</i>	5
2.4 <i>Heat Exchanger Tipe Shell And Tube</i>	6
2.5 Perpindahan Kalor	11
2.6 Efektivitas <i>Heat Exchanger</i>	14
2.7 Persamaan Perhitungan	15
2.8 <i>ANSYS CFD (Computational Fluid Dynamics)</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan lokasi penelitian.....	20
3.2 Prosedur Penelitian	20
3.3 Penyajian Data	22
3.4 Proses Simulasi	24
3.5 Kerangka Penelitian	38
HASIL DAN PEMBAHASAN	39
Perhitungan Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD)	39
Efektivitas <i>Heat Exchanger Type Shell and Tube</i>	45



BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	6
Gambar 2 Komponen <i>Heat Exchanger Tipe Shell and Tube</i>	7
Gambar 3 Bentuk susunan pipa <i>tube</i>	8
Gambar 4 <i>Heat Exchanger Tipe Shell and Tube</i> Aliran Berlawanan	9
Gambar 5 Tipe Aliran berlawanan arah dan profil temperatur	9
Gambar 6 <i>Heat Exchanger Tipe Shell and Tube</i> Aliran Searah	10
Gambar 7 Tipe Aliran searah dan profil temperatur	10
Gambar 8 Tipe aliran <i>cross flow</i> (aliran menyilang)	11
Gambar 9 konveksi pada zat cair	12
Gambar 10 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.....	20
Gambar 11 <i>Heat Exchanger Type Shell and Tube</i> Kapal Sirimau.....	22
Gambar 12 Tampilan <i>spaceclaim</i> pada <i>ANSYS R18.2</i>	24
Gambar 13 Dimensi <i>shell</i>	25
Gambar 14 Dimensi pipa <i>tube</i>	25
Gambar 15 Dimensi <i>Buffle</i>	26
Gambar 16 <i>Heat Exchanger Type Shell and Tube</i>	26
Gambar 17 Hasil <i>mesh shell and tube</i>	27
Gambar 18 <i>Mesh Body Sizing shell</i>	28
Gambar 19 <i>Mesh face Sizing shell</i>	29
Gambar 20 <i>Mesh body sizing</i> pipa <i>tube</i>	30
Gambar 21 <i>Mesh face Sizing</i> pipa <i>tube</i>	31
Gambar 22 Proses <i>setup domain oil</i>	34
Gambar 23 Tampilan <i>cfx solver Shell and tube</i>	37
Gambar 24 Bentuk aliran fluida panas dan dingin <i>Shell and Tube</i>	37
Gambar 25 <i>Contour plane</i> Temperatur pada tekanan 2,2 bar.....	40
Gambar 26 <i>Contour plane</i> Temperatur pada tekanan 2,3 bar.....	41
Gambar 27 <i>Contour plane</i> Temperatur pada tekanan 2,4 bar.....	42
Gambar 28 Grafik Perbandingan Suhu Simulasi dengan Data Lapangan	43
Gambar 29 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap nilai LMTD Hasil Simulasi	44
Gambar 30 Grafik Hasil Simulasi Pengaruh Tekanan Terhadap Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa <i>tube</i>	46



Gambar 31 Grafik Hasil Simulasi Pengaruh Tekanan Terhadap Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa <i>tube</i>	49
Gambar 32 Pengaruh Tekanan Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Shell and Tube.....	51
Gambar 33 Grafik perbandingan efektivitas hasil simulasi dan efektivitas hasil perhitungan.....	54



DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>Effectiveness Relations For Heat Exchanger</i>	17
Tabel 2 Pengaturan <i>Mesh Shell and Tube</i>	27
Tabel 3 Pengaturan <i>Mesh body sizing pada shell</i>	28
Tabel 4 Pengaturan <i>Mesh face sizing pada shell</i>	29
Tabel 5 Pengaturan <i>Mesh body sizing pada pipa tube</i>	30
Tabel 6 Pengaturan <i>Mesh face sizing pada pipa tube</i>	30
Tabel 7 Batas Kondisi fisik Domain <i>Oil</i>	31
Tabel 8 Pengaturan Kondisi Batas <i>Inoil</i>	32
Tabel 9 Pengaturan Kondisi Batas <i>Outoil</i>	32
Tabel 10 Pengaturan Kondisi Batas <i>Oil Default</i>	33
Tabel 11 Pengaturan Kondisi Batas <i>Default Fluid Fluid Interface side 1</i>	33
Tabel 12 Batas kondisi fisik domain <i>water</i>	34
Tabel 13 Pengaturan kondisi batas <i>inwater</i>	35
Tabel 14 pengaturan kondisi batas <i>outwater</i>	35
Tabel 15 Pengaturan kondisi batas <i>water default</i>	35
Tabel 16 Pengaturan kondisi batas <i>default fluid fluid interface side 2 1</i>	36
Tabel 17 Tabel Perubahan Suhu Simulasi <i>Heat Exchanger Shell and Tube</i>	39
Tabel 18 Pengaruh Tekanan Terhadap Nilai LMTD	44
Tabel 19 Pengaruh Tekanan Terhadap Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa <i>tube</i>	45
Tabel 20 Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh menggunakan rumus empiris.....	49
Tabel 21 Pengaruh Tekanan Terhadap Efektivitas <i>Heat Exchanger Shell and Tube</i>	51
Tabel 22 Pengaruh Tekanan Terhadap Efektivitas <i>Heat Exchanger Shell and Tube</i>	53



DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Lambang/ Singkatan	Arti dan Keterangan
L	Panjang Pipa (m)
D_i	Diameter Pipa Bagian Dalam (m)
μ	Viskositas Dinamik Fluida Panas/Dingin (kg/m.s)
V	Kecepatan Fluida Didalam Pipa (m/s)
Re	<i>Reynold Number</i> Aliran Didalam Pipa
ρ	Massa Jenis Fluida Panas/Dingin (kg/m ³)
D_0	Diameter Pipa Bagian Luar (m)
ST	<i>Transverse Pitch</i> (m)
SL	<i>Longitudinal Pitch</i> (m)
R_{wall}	Tahanan Termal Pada Dinding Pipa (°C/W)
K	Konduktivitas Termal (W/m °C)
R_i	Tahanan Termal Pada Bagian Dalam Pipa (°C/W)
h_i	<i>Heat Transfer Coefficient Inside Tube</i> (W/m ² °C)
h_o	<i>Heat Transfer Coefficient outside Tube</i> (W/m ² °C)
Nu	<i>Nusselt Number</i>
R_o	Tahanan Termal Pada Bagian Luar Pipa (°C/W)
\dot{m}_o	Laju Aliran Massa Fluida (kg/s)
C_{ph}	<i>Specific Heat hot fluid</i> (kJ/kg°C)
$T_{h in}$	Temperatur Fluida Panas / oil masuk (°C)
$T_{h out}$	Temperatur Fluida Panas / oil keluar (°C)
Pr	Bilangan Prandtl
\dot{m}_c	Laju Aliran Massa Fluida Dingin (kg/s)
C_{pc}	<i>Specific Heat Cold Fluid</i> (kJ/kg°C)
$T_{c in}$	Temperatur Fluida Dingin / <i>fresh water</i> masuk (°C)
$T_{c out}$	Temperatur Fluida Dingin / <i>fresh water</i> keluar (°C)
\dot{Q}	Debit Aliran Fluida (m ³ /s)
$\Delta LMTD$	Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik (°C)



U_i	Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Dalam Pipa <i>tube</i> ($W/m^2\text{°C}$)
ϵ	<i>Efektivitas Heat Exchanger (%)</i>
C_{min}	<i>Heat Capacity Rates of The Hot / Cold Fluid ($kW/\text{°C}$)</i>
NTU	<i>Number of Transfer Units</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data <i>Auxiliary Engine</i>	54
Lampiran 2. Tahap <i>Modeling Shell And Tube</i>	55
Lampiran 3. Tahap <i>Meshing</i>	56
Lampiran 4. Tahap <i>Setup</i>	57
Lampiran 5. Tahap <i>Solution</i>	58
Lampiran 6. <i>Result</i> Pada Tekanan 2,2 Bar	59
Lampiran 7. <i>Result</i> Pada Tekanan 2,3 Bar	60
Lampiran 8. <i>Result</i> Pada Tekanan 2,4 Bar.....	61
Lampiran 9. <i>Properties of Engine Oil</i>	62
Lampiran 10. <i>Properties of Water</i>	63



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas karunia, taufiq dan hidayah-Nya lah, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Dengan Variasi Kecepatan Aliran Menggunakan Software CFD*”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir perkuliahan dan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana.

Mengingat keterbatasan penulis sebagai manusia biasa yang tak luput dari salah dan dosa, penulis menyadari bahwa skripsi ini sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritikan dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar kedepannya penulis bisa lebih baik lagi.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan adik atas segala cinta, kasih sayang, do’a dan segala pengorbanannya dalam memberikan pendidikan yang layak untuk masa depan penulis.
2. Bapak Andi Husni Sitepu, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan serta saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, M.T. dan Bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.



4. Bapak Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech.,M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh Dosen dan Staf tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas selama perkuliahan.
6. Teman-teman Kortnozzle19 dengan segala kebersamaannya, canda tawanya, dan motivasinya.
7. Semua pihak yang tak sempat disebutkan satu persatu atas segala bentuk bantuan dan perhatiannya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Makassar, 21 Januari 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat Exchanger merupakan suatu alat yang digunakan untuk mentransfer energi panas antara dua fluida atau lebih, antara permukaan padat dengan fluida, atau juga antara fluida dengan partikel padat. Keduanya memiliki perbedaan temperatur sehingga menyebabkan kontak termal antara fluida dengan partikel padat tersebut (Maksum, dkk., 2018). Salah satu bentuk *heat exchanger* yang banyak digunakan adalah *heat exchanger type shell and tube* karena memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, kemudahan dari segi perawatan dan terhitung ekonomis (Husen, dkk., 2020).

Salah satu industri perkapalan yang mengaplikasikan *Heat Exchanger Type Shell and Tube* adalah PT. Pelni. Contohnya pada kapal KM. Sirimau. Dimana *oil cooler* pada kapal ini menggunakan *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. *Oil cooler* berfungsi sebagai pendingin minyak pelumas dengan media *fresh water*. Minyak pelumas (*oil*) yang mengalir pada sisi *shell* sedangkan *fresh water* sebagai pendingin mengalir melalui pipa *tube*.

Oil menjadi hal yang sangat penting dalam operasional permesinan kapal karena merupakan lapisan pelindung untuk memisahkan dua permukaan pada mesin yang saling bergesekan. Penurunan kinerja pada *oil* dapat menyebabkan kerusakan pelumasan mesin yang menyebabkan terjadinya keausan mekanis, korosi kimia, dan panas berlebih sehingga dapat berakibat fatal pada permesinan (Hendrawan, dkk., 2022).

Salah satu faktor yang menurunkan kinerja dari *oil* adalah suhu yang terlalu tinggi yang dapat menurunkan viskositas dari *oil* tersebut, sehingga mengakibatkan *oil* bekerja secara tidak efisien. Oleh karena itu, perlunya pengkajian mengenai *oil cooler* khususnya *Heat Exchanger Type Shell and Tube* agar suhu *oil* dapat dipertahankan pada suhu tertentu.



uraian di atas, pada penelitian ini akan dilakukan analisa *heat exchanger shell and tube* terhadap sistem pendingin *oil* KM. Sirimau dengan variasi

tekanan *fresh water* untuk melihat sejauh mana efektivitas dari *heat exchanger type shell and tube* terhadap beberapa kondisi variasi tekanan yang diberikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) terhadap variasi tekanan *fresh water* pada simulasi *Heat Exchanger Type Shell and Tube* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi tekanan fluida dingin (*fresh water*) terhadap efektivitas *Heat Exchanger Type Shell and Tube* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) terhadap variasi tekanan *fresh water* pada simulasi *Heat Exchanger Type Shell and Tube*.
2. Mengetahui pengaruh variasi tekanan fluida dingin (*fresh water*) terhadap efektivitas *heat exchanger tipe shell and tube*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi salah satu sumber referensi penelitian mengenai efektivitas *heat exchanger tipe shell and tube*
2. Memberikan gambaran model *Heat Exchanger Tipe Shell And Tube* pada sistem pendingin *oil* untuk *Auxiliary Engine* di kapal.
3. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana pengaruh tekanan terhadap efektivitas *heat exchanger Tipe Shell and Tube*.
4. Memberikan pemahaman mengenai proses simulasi *heat exchanger Tipe Shell and Tube* pada software *ANSYS*.



Rumusan Masalah

Rumusan-batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai

1. *Heat Exchanger* yang dianalisa merupakan tipe *heat exchanger* mesin bantu pada KM. Sirimau.
2. Spesifikasi mesin yang digunakan merujuk pada spesifikasi mesin Kapal Motor Sirimau.
3. Dilakukan tiga variasi tekanan *fresh water* yang masuk ke *heat exchanger* yaitu tekanan 2,2 bar, 2,3 bar, dan 2,4 bar.
4. Validasi data menggunakan pendekatan rumus empiris.
5. Koefisien perpindahan panas menyeluruh yang dihitung ditinjau pada bagian dalam pipa *tube*.
6. Beda temperatur rata-rata logaritmik yang dihitung mengabaikan suhu lingkungan sehingga temperatur yang digunakan berdasarkan hasil simulasi pada *ANSYS CFX*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin

Sistem pendingin merupakan sistem yang berfungsi menjaga temperatur mesin pada suhu tertentu sesuai dengan desain yang ditentukan agar mesin diesel dapat beroperasi secara berkelanjutan. Mesin diesel yang beroperasi menghasilkan panas dengan suhu tinggi. Untuk pendinginan dari sebuah mesin diesel diperlukan suatu sistem yang terdiri dari pipa, pompa dan pendingin atau *cooler*, yang berfungsi untuk menurunkan suhu suatu cairan atau udara dari suhu tinggi kesuhu yang lebih rendah dengan bantuan bahan pendingin yaitu air atau udara. Fungsi lain dari sistem pendingin adalah mengurangi panas yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dengan udara yang dapat mencapai temperatur 2500 °C, panas yang cukup tinggi ini dapat melelehkan logam dan komponen lain yang dapat mengganggu kinerja sistem pendingin, dan mempertahankan temperatur mesin agar selalu pada temperatur kerja yang optimal, mempercepat pencapaian temperatur kerjanya mesin, karena untuk mencegah terjadinya keausan dan emisi gas buang yang berlebihan (Wisely, Dkk., 2021).

Komponen pendingin yang digunakan adalah *heat exchanger*. Peranan *heat exchanger* sangat penting dalam industri demi keberhasilan keseluruhan rangkaian proses pada suatu unit, karena kegagalan pada operasi *heat exchanger* dapat menyebabkan berhentinya operasi unit. Perancangan *heat exchanger* merupakan salah satu langkah awal yang sangat menentukan keberhasilan operasi suatu unit. Tipe alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang paling banyak digunakan di dunia industri adalah tipe *shell* dan *tube* karena dari konstruksinya yang simpel. *Heat exchanger type shell and tube* terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* di bagian dalam. Perancangan yang benar dan teliti dalam mendisain tipe ini sangat dibutuhkan untuk menghasilkan unjuk kerja *heat exchanger* yang baik (Afdhal, 2012).



2.2 Lubricating Oil

Pelumas adalah zat kimia berupa cairan yang berada diantara dua benda yang saling bergesekan untuk mengurangi gaya gesek. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang saling bergesekan. Cairan (minyak lumas) merupakan salah satu dari empat fase benda yang volumenya tetap dalam kondisi suhu dan tekanan tetap. Dari empat fase benda tersebut adalah zat cair, padat, gas, dan massa jenis (Tona, 2022).

Minyak pelumas memiliki kekentalan yang berbeda-beda, kekentalan atau viskositas pelumas dibedakan secara khusus oleh International *Organization for Standardization* (ISO) (Hendrawan dkk, 2022). Apabila suatu mesin dalam keadaan suhu yang tinggi maka kekentalan minyak lumas akan cenderung turun. Hal ini dikarenakan mengalami pemuaian volume. Apabila suhu mesin dalam keadaan suhu yang rendah maka kekentalan minyak lumas akan cenderung meningkat, karena minyak lumas pada kondisi volume yang menyusut. Minyak lumas akan mengalami perubahan volume jika mengalami perubahan suhu. Volume suatu zat mempunyai korelasi dengan massa jenis zat tersebut. (Hendrawan, dkk., 2022).

2.3 Lubricating Oil Cooler

Lubricating Oil Cooler (L.O. Cooler) merupakan alat pendingin minyak lumas yang memiliki temperatur tinggi akibat gesekan antar komponen didalam mesin. *L.O. Cooler* akan mendinginkan minyak lumas yang bertemperatur tinggi dengan cara mentransfer panas dari minyak lumas ke *fresh water*. Dimana minyak lumas masuk pada bagian *shell* bersinggungan dengan *fresh water* sebagai media pendingin yang berada pada pipa kapiler. Temperatur minyak lumas akan diserap panasnya oleh *fresh water* yang berada pada pipa kapiler. Selanjutnya temperatur minyak pelumas akan mengalami penurunan akibat penyerapan temperatur *fresh water* sebagai media pendinginnya, sehingga *L.O Cooler* sangat bergantung pada naik turunnya temperatur pada minyak lumas.



Beberapa factor yang menyebabkan *L.O. Cooler* tidak dapat berfungsi dengan baik antara lain, tersumbatnya pipa pada *L.O. Cooler*, tercampurnya volume *fresh water* dengan minyak lumas yang digunakan tidak memenuhi standar yang telah

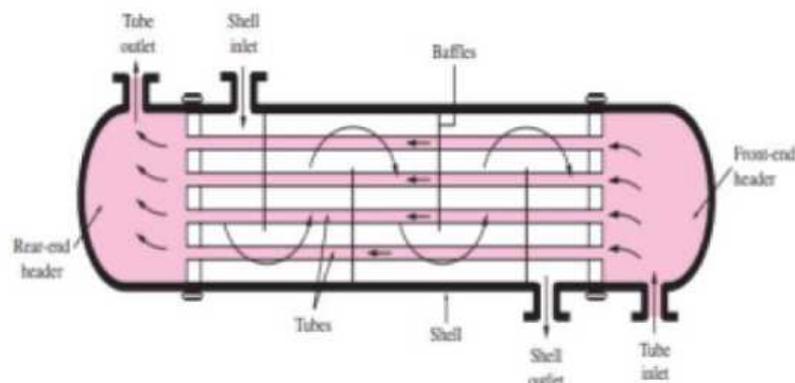
ditentukan. Selain itu, tidak sebandingnya volume minyak lumpur dengan volume *fresh water* yang masuk ke *L.O. Cooler* (Hendrawan, dkk., 2022).

2.4 Heat Exchanger Tipe Shell And Tube

2.4.1 Gambaran Umum

Heat exchanger tipe ini adalah salah satu jenis alat *heat exchanger* memiliki konstruksi sekumpulan *tube* yang dipasangkan di dalam *shell* berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi *tube* dan sisi *shell*. Satu fluida mengalir di dalam pipa, sementara fluida lain dialirkan dalam *shell*. Agar aliran dalam *shell* *turbulen* dan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada *shell* dipasang penghalang (*baffle*) (Bizzy, 2013).

Heat exchanger tipe shell and tube merupakan salah satu jenis alat penukar kalor yang sangat banyak digunakan, salah satunya adalah pada industri perminyakan. *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube* ini terdiri dari sebuah *shell* (tabung/silindris besar) dan sekumpulan pipa *tube* seperti pada gambar 1 (Husen, 2020).



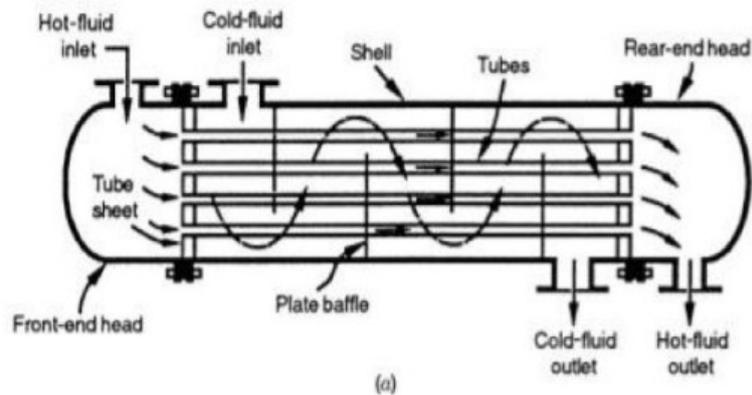
Gambar 1 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Sumber: I. Bizzy & R. Setiadi

2.4.2 Komponen *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*



ara umum komponen-komponen penyusun dari *Heat Exchanger Tipe Tube* adalah sebagai:



Gambar 2 Komponen *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*

a. *Tube*

Tube adalah bidang pemisah pada dua jenis fluida yang mengalir dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. *Tube* dapat terbuat dari besi, tembaga, perunggu, aluminium dan *stainless steel* (Sari, 2019).

b. *Shell*

Shell adalah badan dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Dimana, didalamnya terdapat *Tube*. Pada *Heat Exchanger* tipe ini terdapat fluida yang menerima atau melepaskan panas. Fluida yang masuk pada sisi *shell* melalui saluran masuk (*input nozzle*) melewati bagian dalam *shell* dan mengelilingi *tube* kemudian keluar melalui saluran keluar (*outlet nozzle*). Umumnya *shell* berbentuk memanjang (silinder) yang berisi *tube* sekaligus sebagai wadah untuk mengalirkan zat atau fluida (Sari, 2019).

c. *Tube Sheet*

Komponen ini berupa alat plat yang dipasang di dalam *tube* untuk membagi aliran fluida *tube* bila jumlah *tube* lebih dari satu (Sari Ayu Fatikha, 2019). *Tube Sheet* ini berfungsi sebagaiudukan *tube bundle* pada *shell*.

d. *Baffle*

Baffle digunakan untuk mengatur aliran yang lewat pada bagian *shell* sehingga diperoleh aliran turbulensi yang lebih tinggi dan memperbesar perpindahan panas yang terjadi. *Baffle* didalam *shell* menyebabkan arah aliran

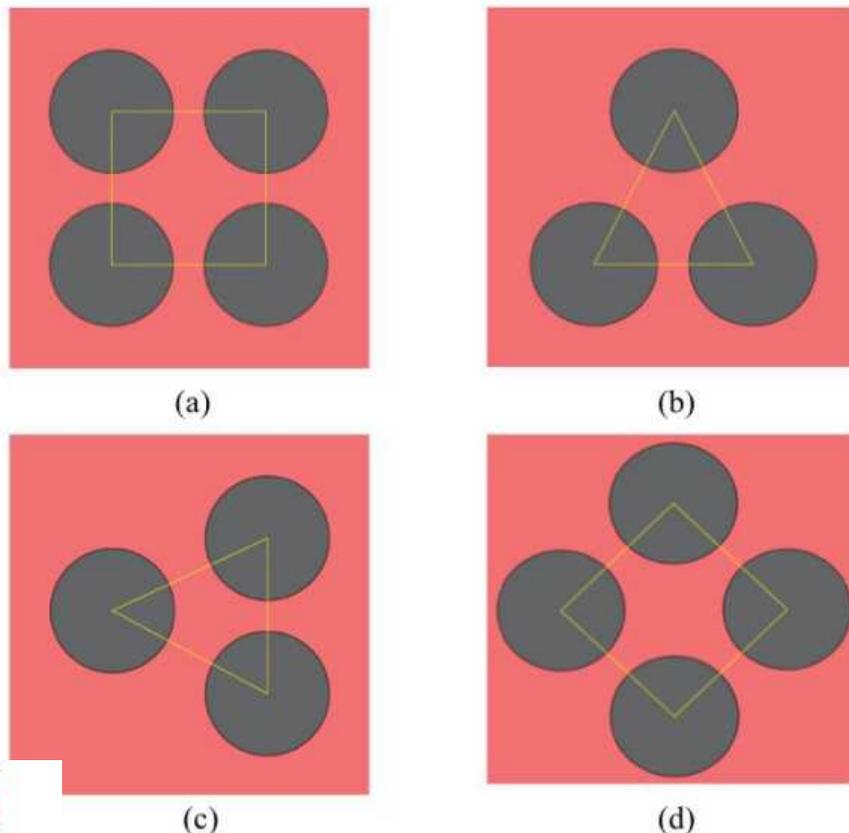
dalam *shell* akan memotong kumpulan *tube* secara tegak lurus. *Baffle* juga i untuk menahan getaran pada *tube* dan menjaga jarak antara masing-



masing *tube*, serta menahan turbulensi yang ditimbulkan oleh tekana fluida (Sari, 2019).

2.4.3 Jenis Susunan *Tube*

Susunan *tube* pada *heat exchanger type shell and tube* terbagi menjadi empat bentuk utama yaitu *square* (90°), *rotated triangular* (60°), *triangular* (30°), *rotated squar* (45°). Dari keempat susunan *tube* di atas, susunan *tube* dengan sudut 30° atau *triangular* memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar, dan susunan *tube square* (90°) memiliki nilai keofisien perpindahan panas menyeluruh terkecil. Fenomena ini terjadi karena adanya pengaruh susunan pada pipa *tube*. Pada susunan *tube* 30° , pipa *tube* lebih rapat dibandingkan pada susunan *tube* 90° . Karena susunan *tube* lebih rapat, maka suhu dari *inlet* akan mengalami perpindahan panas secara konveksi lebih besar dibandingkan dengan susunan yang sejajar (90°) (Nilasari, 2017). Berikut gambar bentuk susunan utama pipa *tube* pada *Heat Exchanger Type Shell and Tube*.



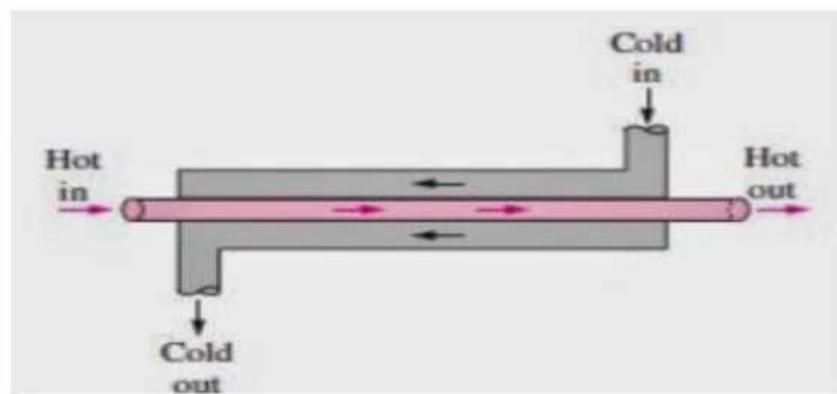
Gambar 3 Bentuk susunan pipa *tube* (a) *Square* (90°); (b) *Rotated Triangular* (60°); (c) *Triangular* (30°); (d) *Rotated Square* (45°)



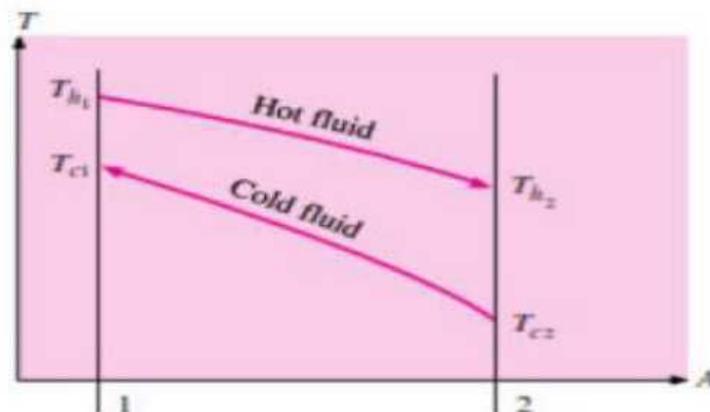
2.4.4 Jenis Aliran Dalam *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*

a. Aliran berlawanan arah

Counter current flow atau *counter flow* adalah aliran berlawanan arah, dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang lain masuk pada ujung penukar kalor yang lain, yang masing-masing mengalir dalam arah berlawanan. Untuk jenis aliran arus balik ini memberikan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan aliran langsung atau paralel. Berikut gambar aliran berlawanan arah pada *heat exchanger type shell and tube*.



Gambar 4 *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube* Aliran Berlawanan



Gambar 5 Tipe Aliran berlawanan arah dan profil temperatur

Sumber: J.P.Holman

b. Aliran Searah

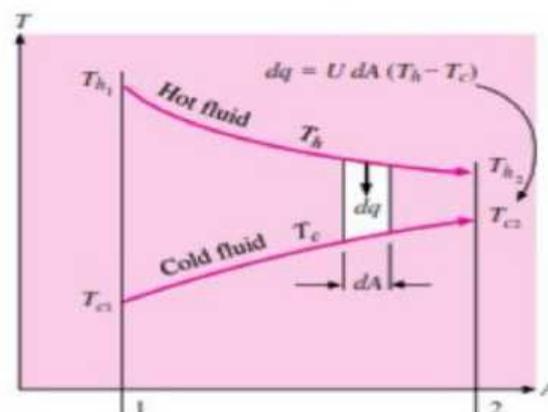


ran searah terjadi ketika arah aliran dua cairan dalam penukar kalor sejajar. ti bahwa kedua cairan memasuki satu sisi dan keluar dari sisi lainnya, dalam arah yang sama. Karakteristik dari jenis penukar kalor ini adalah

bahwa suhu fluida yang berfungsi sebagai sumber panas selalu lebih tinggi daripada suhu fluida yang berperan sebagai penerima panas, mulai dari masuk hingga keluar dari penukar panas. Berikut gambar aliran searah pada *heat exchanger type shell and tube*.



Gambar 6 *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube* Aliran Searah
Sumber: J.P.Holman

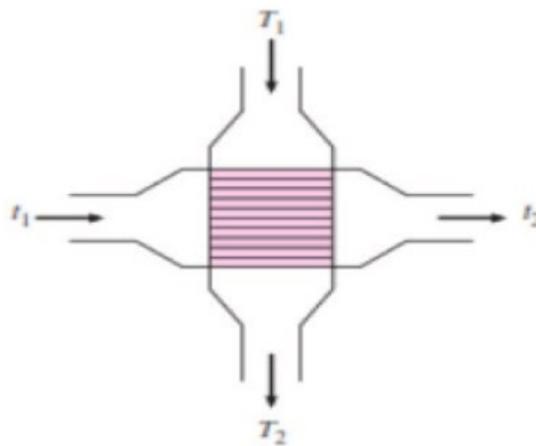


Gambar 7 Tipe Aliran searah dan profil temperatur
Sumber: J.P.Holman

c. Aliran Silang

Cros flow atau biasa juga disebut dengan aliran silang merupakan aliran dimana fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus, seperti yang terlihat pada gambar.





Gambar 8 Tipe aliran *cross flow* (aliran menyilang)

Sumber: J.P.Holma

2.5 Perpindahan Kalor

2.5.1 Gambaran Umum

Perpindahan panas merupakan salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari program menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan mengalihkan panas di selang sistem fisik. Perpindahan panas diklasifikasikan menjadi konduktivitas termal, konveksi termal, radiasi termal, dan perpindahan panas melewati perubahan fasa.

Perpindahan panas adalah proses dinamis dimana panas dipindahkan dari benda panas ke benda dingin, laju perpindahannya tergantung pada perbedaan suhu antara dua benda tersebut. Perbedaan suhu diperlukan untuk pindah panas, dan perbedaan temperatur ini disebut kekuatan pendorong (*driving force*) untuk pindah panas. Tanpa perbedaan suhu tidak ada pindah panas. Sebagai contoh, air tidak bisa dididihkan pada suhu 100 °C dengan uap air bersuhu 100 °C.

Dalam memindahkan energi panas dari satu benda ke benda lain mungkin terdapat hambatan. Hambatan terhadap aliran panas dapat terjadi di dalam bahan atau pada permukaannya. Seperti menilai semua proses, laju perpindahan panas adalah berbanding lurus dengan beda suhu (*driving force*) dan berbanding terbalik dengan hambatan. Secara umum ada tiga cara perpindahan panas yang berbeda konduksi dikenal dengan istilah hantaran, radiasi (*radiation*) dan konveksi dengan istilah aliran. Jika kita berbicara secara tepat, maka hanya konduksi



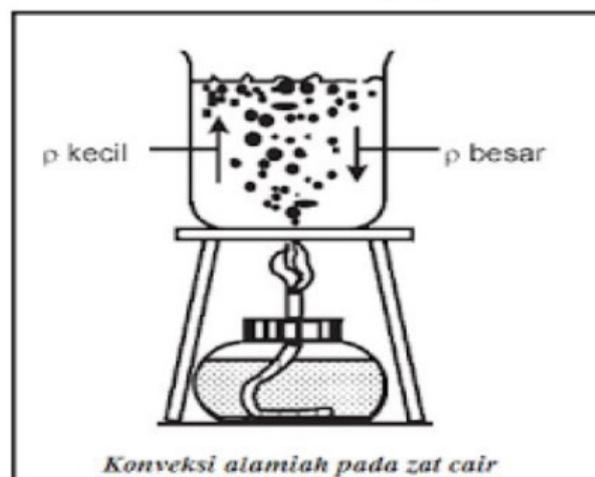
dan radiasi dapat digolongkan sebagai proses perpindahan panas, karena hanya kedua mekanisme ini yang tergantung pada beda suhu (Mursadin dan Subagyo, 2016).

Sedangkan konveksi, tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan panas, karena proses konveksi bergantung pada transport massa mekanik pula. Tetapi karena konveksi juga menghasilkan pemindahan energi dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah, maka istilah “perpindahan panas dengan cara konveksi” telah diterima secara umum (Mursadin dan Subagyo, 2016).

2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi akibat terdapat perbedaan temperatur yang dapat menyebabkan gerakan acak antar molekul dan *bulk motion of fluid*. Dimana semakin cepat pergerakan suatu fluida, maka laju perpindahan panas konveksi yang terjadi akan semakin besar pula. Namun, apabila suatu fluida tidak bergerak atau stationary maka mekanisme perpindahan panas yang terjadi adalah konduksi.

Konveksi terjadi akibat adanya pergerakan fluida, sehingga konveksi dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu konveksi alami dan konveksi paksa. Konveksi alami (konveksi bebas) terjadi karena fluida bergerak secara alamiah di mana pergerakan fluida tersebut lebih disebabkan oleh perbedaan massa jenis fluida akibat adanya variasi suhu pada fluida tersebut. Konveksi paksa terjadi karena Bergeraknya fluida bukan karena faktor alamiah (Wijiati dan Widodo, 2019).



Gambar 9 konveksi pada zat cair

Sumber: (www.konveksi-alamiah-zat-cair-dan-gas.html)



Konveksi paksa merupakan perpindahan panas dimana alirannya berasal dari luar, seperti halnya dari blower atau keran dan pompa. Konveksi paksa dalam pipa merupakan persoalan perpindahan konveksi untuk aliran dalam atau yang disebut dengan *internal flow*. Adapun aliran yang terjadi dalam pipa adalah fluida yang dibatasi oleh suatu permukaan. Sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada aliran luar (Walujodjati, 2006).

Laju perpindahan panas konvektif diatur dalam hukum Newton tentang pendinginan. Hukum ini menyatakan bahwa laju perpindahan panas dengan konveksi secara langsung proporsional dengan luas area perpindahan panas dan perbedaan suhu antara cairan panas dan dingin.

Metode yang digunakan dalam menghitung koefisien perpindahan panas harus mempertimbangkan sifat dari fluida tersebut dan kondisi aliran yang dapat mempengaruhi perpindahan panas. Oleh karena itu, banyak faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi, cara yang paling berguna untuk mengembangkan suatu persamaan adalah dengan melibatkan analisis dimensional.

2.5.3 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar menurut teori kinetik. Suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata – rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu.

Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relative molekul – molekulnya disebut energi dalam. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan *elastic (elastic impact)*, misalnya dalam fluida atau dengan pembauran (*difusi/diffusion*) elektron–elektron yang bergerak secara cepat dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah (misalnya logam). Konduksi merupakan satu–satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya (Mursadin, dkk.,



2.5.4 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnet atau paketpaket energi (photon) yang dapat dibawa sampai jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Radiasi dalam perpindahan panas (thermal radiation) hanya salah satu bentuk dari jenis radiasi elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berpindah dengan cara pancaran melalui gelombang electromagnet (Wahyono, dkk., 2019).

Proses radiasi adalah fenomena permukaan. Proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Tetapi suatu bahan apabila menerima sinar, maka banyak hal yang boleh terjadi. Energi kalor yang menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan panas radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan (Wahyono, dkk., 2019).

2.6 Efektivitas *Heat Exchanger*

Pendekatan LMTD dengan *heat exchanger* berguna bila suhu masuk dan suhu keluar dapat ditentukan, sehingga nilai LMTD dapat dihitung dengan mudah. Selanjutnya aliran kalor, luas permukaan, dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan. Bila kita menentukan temperatur masuk atau temperatur keluar, analisis akan melibatkan prosedur iterasi karena LMTD itu sesuai dengan fungsi logaritma. Efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai rasio antara laju perpindahan kalor sebenarnya untuk suatu *heat exchanger* terhadap laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin (Bizzy, dkk., 2013).

Dalam menghitung efektivitas penukar panas, terdapat metode yang lebih praktis yang disebut metode efektivitas-NTU. Metode ini didasarkan pada parameter tak berdimensi yang disebut efektivitas perpindahan panas ϵ , yang didefinisikan sebagai Hubungan efektivitas dari penukar panas biasanya melibatkan UA / C_{min} grup tanpa dimensi. dimana U adalah koefisien perpindahan panas keseluruhan dan A adalah luas permukaan perpindahan panas dari penukar panas.

besar nilai NTU, maka semakin besar efektivitas *heat exchanger*nya.



2.7 Persamaan Perhitungan

2.7.1 Kecepatan Fluida Dalam Pipa

Kecepatan aliran pada pipa dapat diketahui dengan persamaan berdasarkan sumber Ahmad Husen, dkk adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Dimana

- V = Kecepatan aliran (m/s)
 Q = Debit (m³/s)
 A = Luas permukaan perpindahan panas bagian dalam (m²)

2.7.2 Beda Temperatur Rata-Rata Logaritma (LMTD)

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai LMTD berdasarkan Buku Cengel, Yunus A "Heat Transfer" adalah sebagai berikut:

$$LMTD = \frac{(T_{hin} - T_{cout}) - (T_{hout} - T_{cin})}{\ln \frac{(T_{hin} - T_{cout})}{(T_{hout} - T_{cin})}} \quad (2)$$

Dimana

- T_{hin} = Suhu fluida panas masuk (°C)
 T_{hout} = Suhu fluida panas keluar (°C)
 T_{cin} = Suhu fluida dingin masuk (°C)
 T_{cout} = Suhu fluida dingin keluar (°C)

2.7.3 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh berdasarkan Buku Ozisik M. Necati adalah sebagai berikut:

$$U_i = \frac{1}{R A_i} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \left[\frac{1}{2k}\right] D_i \ln \left(\frac{d_o}{d_i}\right) + \left(\frac{d_i}{d_o}\right) \left(\frac{1}{h_o}\right)} \quad (3)$$

Dimana

- R = Tahanan termal total (°C/W)
 h_i = Koefisien perpindahan panas di dalam tube (W/m²°C)
 A_i = Luas permukaan perpindahan panas bagian dalam (m²)
 k = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m²°C)
 h_o = Koefisien perpindahan panas bagian luar (W/m²°C)



k	= Konduktivitas Termal (W/m °C)
d_o	= diameter luar pipa (m)
d_i	= Diameter dalam pipa (m)

2.7.4 Tahanan Termal Total

Berdasarkan buku Cengel, Yunus A “*Heat Transfer*”. Persamaan yang digunakan dalam menghitung Tahanan termal total adalah sebagai berikut:

$$R = R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{wall}} + R_o \quad (4)$$

Dimana

R	= Tahanan termal total	(°C/W)
R_i	= Tahanan termal pada bagian dalam pipa	(°C/W)
R_{wall}	= Tahanan pada dinding pipa	(°C/W)
R_o	= Tahanan termal pada bagian luar pipa	(°C/W)

2.7.5 Tahanan Termal Pada Bagian Dalam Pipa (R_i)

Persamaan yang digunakan dalam menghitung tahanan termal pada bagian dalam pipa berdasarkan buku J. P Holman adalah sebagai berikut:

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} \quad (5)$$

Dimana

R_i	= Tahanan termal bagian dalam pipa	(°C/W)
h_i	= Koefisien perpindahan panas di dalam <i>tube</i> (W/m °C)	
A_i	= Luas permukaan perpindahan panas bagian dalam (m ²)	

2.7.6 Tahanan Termal Pada Dinding Pipa (R_{wall})

Persamaan yang digunakan dalam menghitung tahanan termal pada dinding pipa berdasarkan buku Cengel, Yunus A “*Heat Transfer*”. sebagai berikut:

$$R_{\text{wall}} = \frac{\ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right)}{2\pi kL} \quad (6)$$

Dimana

R_{wall}	= Tahanan termal pada dinding pipa (°C/W)
k	= Konduktivitas Termal (W/m °C)
d_o	= diameter luar pipa (m)
d_i	= Diameter dalam pipa (m)



2.7.7 Tahanan Termal Pada Bagian Luar Pipa (R_o)

Persamaan yang digunakan dalam menghitung tahanan termal pada bagian luar pipa berdasarkan buku Cengel, Yunus A “*Heat Transfer*”. sebagai berikut:

$$R_o = \frac{1}{hoA_o} \quad (7)$$

Dimana

- R_o = Tahanan termal bagian luar pipa ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
 A_o = Luas permukaan perpindahan panas bagian luar (m^2)
 ho = Koefisien perpindahan panas bagian luar ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

2.7.8 Efektivitas *Heat Exchanger*

Dalam mengevaluasi efektivitas pertukaran panas pada *heat exchanger tipe shell and tube* menggunakan metode *Number of Transfer Units (NTU)*, terdapat beberapa rumus yang sesuai dengan tipe *heat exchanger* tersebut. Berikut adalah rumus efektivitas *heat exchanger* berdasarkan tipenya.

Tabel 1 *Effectiveness Relations For Heat Exchanger*

No	<i>Heat Exchanger Type</i>	<i>Effectiveness Relation</i>
1	<i>Double Pipe Parallel – Flow</i>	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+c)]}{1+c}$
	<i>Counter – Flow</i>	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - \exp[-NTU(1-c)]}$
2	<i>Shell and tube: One – shell pass 2,4,... tube passes</i>	$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + c + \sqrt{1 + c^2} \frac{1 + \exp[-NTU\sqrt{1+c^2}]}{1 + \exp[-NTU\sqrt{1+c^2}]} \right\}^{-1}$
3	<i>Cross - Flow (Singel - pass) Both Fluids unmixed</i>	$\varepsilon = 1 - \exp\left\{ \frac{NTU^{0,22}}{c} \left[\exp(-c NTU^{0,78}) - 1 \right] \right\}$
	<i>Cmax Mixed,</i>	$\varepsilon = \frac{1}{c} (1 - \exp \{ 1 - c [1 - \exp(-NTU)] \})$
	<i>Cmin unmixed</i>	$\varepsilon = 1 - \exp \left\{ -\frac{1}{c} [1 - \exp(-c NTU)] \right\}$
	<i>Cmin mixed,</i>	
	<i>Cmax unmixed</i>	
4	<i>All heat exchangers with c = 0</i>	$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU)$

Sumber : Cengel, Yunus A., “*Heat Trasfer*”



2.8 ANSYS CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

ANSYS merupakan software simulasi *engineering* multifisik dengan kapabilitas dan reputasi terbaik di pasaran, dengan aplikasi dan solusi yang sangat luas, mulai dari CAD, CAE yang meliputi Fluida, Struktur dan Elektromagnetik dan system, yang diperuntukkan untuk semua proses *engineering* dengan mengutamakan keakurasian, kehandalan teknologi dan kemudahan penggunaan sehingga memaksimalkan potensi dan kinerja perusahaan.

Computational Fluid Dynamics yang disingkat *CFD* adalah metode yang menggunakan angka, algoritma dan bantuan komputer untuk melakukan analisis perhitungannya. *ANSYS* sendiri memiliki dua modul basic untuk melakukan simulasi. Yakni *ANSYS CFX* dan *ANSYS Fluent*. Keduanya memiliki perbedaan GUI dalam melakukan simulasi. *Fluent* lebih mudah digunakan karena cukup simpel, sedangkan *CFX* memiliki keunggulan dalam hal command line.

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan perangkat metode numerik yang diaplikasikan untuk mendapatkan perkiraan solusi dari masalah fluida dinamis dan perpindahan panas. Pengaturan persamaan pada aliran fluida telah diketahui selama satu abad lamanya. Persamaannya kompleks, tetapi penyelesaiannya sangat berguna untuk mengerti aliran fluida, sehubungan dengan dinamik dan perpindahan panas (Yudhatama, 2018).

Dalam melakukan proses simulasi *ANSYS* terdapat tiga tahap utama yang dilakukan, yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processing adalah tahap awal yang dilakukan dalam simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Dalam proses ini dilakukan beberapa tahap yaitu pemodelan geometri, dimana dalam memodelkan geometri dapat dilakukan pada *software ANSYS* dan juga dapat dilakukan pada *software* lain seperti *solidworks*, *rhino* dan lain sebagainya. Setelah melakukan pemodelan selanjutnya adalah proses *meshing*. Proses ini dilakukan berdasarkan gemoetri

1 volume. *Meshing* bertujuan untuk membuat model agar terdiri dari susunan agar model dapat dijadikan dan nianalisis oleh *software ANSYS*.



2. Processing

Tahap kedua setelah *pre-processing* ialah *processing*. Tahap ini adalah tahapan untuk mengatur *colver model*, *viscous model*, *materials*, *boundary condition*, *control and monitoring conditions*, serta *initialize conditions*. Kemudian dilakukan proses iterasi untuk menyelesaikan proses simulasi.

3. Post-Processing

Tahap terakhir pada simulasi ini adalah tahap *post-processing* didapatkan hasil dari simulasi berupa nilai suhu *outlet*, kecepatan maksimal, perpindahan panas pada *surface*. Selain nilai, didapatkan juga visualisasi persebaran panas dan kecepatan melewati susunan *serrated fin tube*. Dari nilai yang didapatkan akan diolah menjadi sebuah grafik .

2.8.1 Simulasi Heat Exchanger

Dalam melakukan simulasi *heat exchanger* dilakukan beberapa tahap yaitu pembuatan model, tahap *meshing*, tahap *setup*, tahap *solver*. Pembuatan model *heat exchanger* dapat dilakukan pada beberapa *software* seperti GAMBIT dan berbagai *software* modeling lainnya. Setelah melakukan tahap pembuatan model dilakukan tahap *meshing*. Pembuatan *mesh* merupakan pembagian model solid menjadi elemen-elemen kecil. Sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen tersebut (Adhitiya, dkk., 2013).

Pada tahap *setup*, terdapat beberapa hal yang perlu ditentukan seperti penentuan *turbulence modeling*, *input boundary condition*, *materials*, *iteration*. Dalam simulasi *heat exchanger type shell and tube*, penentuan *turbulence modeling* menggunakan k-epsilon. Setelah penentuan *turbulence modeling*, dilakukan *input boundary condition*. Berbagai macam kondisi didefinisikan pada *inlet* mulai dari kecepatan, temperatur, tekanan, laju aliran. Sedangkan pada sisi *outlet* biasanya didefinisikan sebagai kondisi fluida keluar dari *heat exchanger*. Selanjutnya yaitu pemilihan material dengan menginput beberapa sifat dari material yang digunakan



alasi. Setelah itu, melakukan *iteration* merupakan proses perhitungan yang dari kondisi batas yang diberikan. Pada simulasi ini digunakan pemodelan *v flow* (Adhitiya, dkk., 2013).