



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISIS PENGARUH DESAIN *FLOWER*
BAFFLE TERHADAP KINERJA *HEAT*
EXCHANGER BERBASIS *COMPUTATIONAL*
*FLUID DYNAMICS***

YUNITA KHOLIDAZIAH ARIFIANA
NRP. 02311745000028

Dosen Pembimbing
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISIS PENGARUH DESAIN *FLOWER*
BAFFLE TERHADAP KINERJA *HEAT*
EXCHANGER BERBASIS *COMPUTATIONAL*
*FLUID DYNAMICS***

YUNITA KHOLIDAZIAH ARIFIANA
NRP. 02311745000028

Dosen Pembimbing :
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TF 181801

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF FLOWER
BAFFLE DESIGN ON HEAT EXCHANGER
PERFORMANCE BASED ON COMPUTATIONAL
FLUID DYNAMICS METHOD***

YUNITA KHOLIDAZIAH ARIFIANA
NRP. 02311745000028

Supervisor :
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

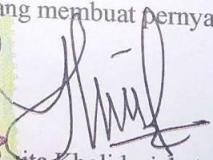
Nama : Yunita Kholidaziah Arifiana
NRP : 02311745000028
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Desain *Flower Baffle* Terhadap Kinerja *Heat Exchanger* Berbasis *Computational Fluid Dynamics*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 12 Juni 2019
Yang membuat pernyataan,




Yunita Kholidaziah Arifiana
NRP. 02311745000028



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

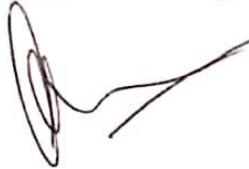
ANALISIS PENGARUH DESAIN *FLOWER BAFFLE*
TERHADAP KINERJA *HEAT EXCHANGER*
BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Oleh:

Yunita Kholidaziah Arifiana
NRP. 0231174500028

Surabaya, 22 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19771127 200212 1 002



Mengetahui,
Kepala Departemen
Fisika FTI-ITS

Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA PENGARUH DESAIN *FLOWER*
BAFFLE TERHADAP KINERJA *HEAT*
EXCHANGER BERBASIS *COMPUTATIONAL*
*FLUID DYNAMICS***

TUGAS AKHIR

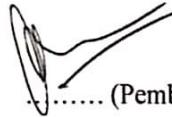
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

YUNITA KHOLIDAZIAH ARIFIANA
NRP. 0231174500028

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing)



2. Ir. Roekmono M.T.

..... (Penguji I)

3. Ir. Sarwono, MM

..... (Penguji II)

4. Ir. Zulkifli, M.Sc.

..... (Penguji III)

SURABAYA
JULI 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS PENGARUH DESAIN *FLOWER BAFFLE* TERHADAP KINERJA *HEAT EXCHANGER* BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Nama : Yunita Kholidaziah Arifiana
NRP : 02311745000028
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

Abstrak

Jenis *heat exchanger* pada dunia industri yang sering digunakan adalah *shell and tube heat exchanger*. *Baffle* merupakan salah satu komponen utama dalam desain *shell and tube heat exchanger*. Salah satu fungsi dari *baffle* yaitu untuk mengarahkan aliran dalam *shell* dan menyangga susunan *tube* yang dapat mencegah terjadinya getaran. Pada penelitian dilakukan terhadap kinerja *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan variasi jarak antar *baffle* jenis *flower* dengan susunan *baffle* secara selang-seling. Penelitian ini dilakukan dengan metode *computational fluid dynamics* (CFD) dengan variasi jarak antar *baffle* yaitu 57 mm, 49 mm, 45 mm dan 41 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada jarak antar *baffle* 49 mm menghasilkan laju perpindahan panas paling tinggi diantara variasi lain yaitu sebesar 192232,2114 Watt/m. Pada hasil simulasi juga menunjukkan terjadi adanya *recirculation flow* yang terlihat melalui vektor kecepatan dan *streamline*

Kata Kunci: *Heat exchanger, flower baffle, computational fluid dynamics*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF FLOWER BAFFLE
DESIGN ON HEAT EXCHANGER PERFORMANCE
BASED ON COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
METHOD**

Name : Yunita Kholidaziah Arifiana
NRP : 02311745000028
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

Abstract

The type of heat exchanger in the industrial field oftenly used is a shell and tube heat exchanger. The baffle is one of the main components in the shell and tube heat exchanger design. One of the functions of the baffle is directing the fluid flow in the shell and support the arrangement of tubes that can prevent vibration. The research was conducted on the performance of shell and tube type heat exchanger with variations in the distance between flower type baffles and alternating baffle arrangements. This research was carried out using computational fluid dynamics (CFD) method with variations in the distance between baffles which were 57 mm, 49 mm, 45 mm and 41 mm. The simulation results shows that the distance between 49 mm baffle produces the highest heat transfer rate among other variations, which is 192232,2114 Watt / m. The simulation results also shows that there is a recirculation flow that is seen through a velocity vector and streamlines

Keywords: heat exchanger, flower baffle, computational fluid dynamics

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Desain Flower Baffle Terhadap Kinerja Heat Exchanger Berbasis Computational Fluid Dynamics**”. Tugas akhir ini membahas mengenai efek pemasangan *flower baffle* dengan jarak yang berbeda-beda terhadap distribusi temperatur dan kecepatan serta koefisien perpindahan panas dari *heat exchanger*.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
2. Bapak Gunawan Nugroho S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu selama penulis menyelesaikan tugas akhir sekaligus kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan.
3. Ibu Dyah Sawitri, S.T., M.T., selaku dosen wali yang telah memberikan pengalaman hidup dan bimbingan selama penulis berkuliah di Teknik Fisika ITS.
4. Kedua orang tua, Bapak Moh. Ilham dan Ibu Siti Mahmudah yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
5. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Fisika ITS yang telah turut membantu penulis menyelesaikan kuliah.
6. Teman-teman F49 Teknik Fisika 2014
7. Kepada teman-teman S1 program Lintas Jalur Teknik Fisika 2017
8. Teman-teman TAWan dan TAWati Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala doa dan bantuannya

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Surabaya, 12 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Heat Exchanger</i>	5
2.2 Aliran Fluida Melintasi Silinder Tunggal	9
2.3 Perpindahan Panas Secara Konveksi.....	11
2.4 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram alir Penelitian.....	15
3.2 Studi Literatur	16
3.3 Penentuan Geometri <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> ...	16
3.4 Simulasi CFD.....	16
3.5 Pengambilan Data dan Analisa Data	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Validasi Hasil Simulasi	23
4.2 Pengaruh Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> Terhadap Distribusi Temperatur	23
4.3 Pengaruh Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> Terhadap Distribusi Kecepatan.....	27
BAB V PENUTUP	37
5.1 Kesimpulan.....	37

5.2 Saran 37

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> (a) <i>one shell pass and one tube pass</i> (b) <i>one shell pass and two tube passes</i>	5
Gambar 2.2	Skematik Arah Fluida (a) <i>Parallel Flow</i> (b) <i>Counter Flow</i>	6
Gambar 2.3	Skematik <i>Cross flow</i> (a) <i>unmixed–unmixed</i> , (b) <i>unmixed–mixed</i> , (c) <i>mixed–mixed</i>	6
Gambar 2.4	Jenis-jenis <i>Segmental Baffle</i>	7
Gambar 2.5	Susunan Pipa (<i>Tube Layout</i>)	7
Gambar 2.6	Distribusi Aliran pada Sisi <i>Shell</i>	8
Gambar 2.7	Fluida Melalui Silinder	9
Gambar 2.8	Profil Kecepatan yang Berhubungan dengan <i>Separation Point</i>	10
Gambar 2.9	Efek Turbulensi Terhadap Pemisahan	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2	Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> (a) 57 mm (b) 49 mm (c) 45 mm (d) 41 mm.....	19
Gambar 3.3	<i>Meshing</i>	20
Gambar 3.4	<i>Mesh Metric Spectrum</i>	20
Gambar 4.1	Distribusi Temperatur pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 57 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	24
Gambar 4.2	Distribusi Temperatur pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 49 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	25
Gambar 4.3	Distribusi Temperatur pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 45 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	26
Gambar 4.4	Distribusi Temperatur pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 41 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	27
Gambar 4.5	Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 57 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	28
Gambar 4.6	Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 49 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	29
Gambar 4.7	Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 45 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ	30

Gambar 4.8	Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar <i>Baffle</i> 41 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ.....	31
Gambar 4.9	Vektor Kecepatan air (a) Bidang YZ (b) <i>Recirculation Flow</i>	32
Gambar 4.10	<i>Streamline</i> (a) Bidang YZ (b) <i>Recirculation</i> <i>Flow</i>	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta C dan m pada persamaan 2.2.....	11
Tabel 2.2 Konstanta C_2 persamaan 2.3.....	11
Tabel 3.1 Dimensi <i>Heat Exchanger</i>	16
Tabel 3.2 Hasil <i>Meshing</i> untuk Semua Variasi.....	20
Tabel 3.3 Kondisi Batas pada Tugas Akhir.....	21
Tabel 3.4 Properties Fluida Kerja.....	21
Tabel 4.1 Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i>	33
Tabel 4.2 Perhitungan Bilangan <i>Nusselt</i>	34
Tabel 4.3 Nilai Koefisien Konveksi.....	34
Tabel 4.4 Perhitungan Nilai Perpindahan Panas.....	35

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat exchanger pada dunia industri digunakan seperti pada pemurnian minyak bumi, pembangkit listrik, *heat recovery* dan pemrosesan kimia. Jenis *heat exchanger* pada dunia industri yang sering digunakan adalah *shell and tube heat exchanger*. Hal tersebut dikarenakan memiliki desain yang fleksibel, kuat serta mudah dirawat dan diperbaiki. Salah satu komponen utama *shell and tube heat exchanger* adalah *baffle*. *Baffle* sangat berperan penting dalam desain *shell and tube heat exchanger* diantaranya yaitu untuk meningkatkan olakan aliran pada sisi shell sehingga mampu meningkatkan unjuk kerja dari suatu alat penukar panas. Selain itu, *baffle* juga berfungsi untuk mengarahkan aliran dalam *shell* dan menyangga susunan tube yang dapat mencegah terjadinya getaran (Thulukkanam, 2013)

Pada perkembangan desain *shell and tube heat exchanger* terdapat beberapa jenis *baffle* yang digunakan untuk meningkatkan unjuk kerja supaya memiliki koefisien perpindahan panas yang tinggi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wang, Huang, Li, Z. Liu & W. Liu (2011), aliran sisi *shell* pada *shell and tube heat exchanger* dengan *helical baffle* memiliki beberapa keuntungan seperti efisiensi perpindahan panas yang tinggi. Namun hal tersebut sangat sulit dalam pembuatan *continuous helical baffle*. Sehingga peneliti ini melakukan eksperimen dengan menggunakan *baffle* tipe baru yaitu *flower baffle*. Eksperimen yang dilakukan tersebut dibandingkan dengan menggunakan *single segmental baffle* dengan variasi kecepatan *tube inlet* sebesar 0,70 m/s, 0,94 m/s dan 1,2 m/s serta adanya variasi *Reynold number* pada sisi *shell*. Dan hasil menunjukkan bahwa kinerja keseluruhan *heat exchanger* dengan menggunakan *flower baffle* adalah 20-30% lebih efisien daripada *single segmental baffle*. Kemudian penelitian

yang dilakukan oleh Ariwibowo, Permatasari, Ardhiangga, & Triyono (2017), dengan melakukan eksperimen dengan variasi jenis *baffle* yaitu *triple segmental* dan *single segmental*. Selain itu juga melakukan variasi jarak pada tipe *single segmental* yaitu 5 cm dan 10 cm. Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa pada tipe *single segmental baffle* menghasilkan koefisien perpindahan panas total yang lebih baik daripada tipe *triple segmental baffle*. Kemudian pada variasi jarak *baffle* tipe *single segmental* menghasilkan koefisien perpindahan panas total yang lebih tinggi terjadi pada jarak *baffle* 5 cm.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Li He & Peng Li (2018), dengan menggunakan beberapa jenis *baffle* yaitu *single segmental baffle*, *helical baffle* dan *flower baffle* dengan adanya variasi *mass flow rate* 1,1 kg/s – 1,9 kg/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *flower baffle* memiliki koefisien perpindahan panas tertinggi daripada *single segmental baffle* dan *helical baffle*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan simulasi mengenai peningkatan perpindahan panas pada *shell and tube heat exchanger* menggunakan *flower baffle*. Selain itu akan diteliti pengaruh variasi jarak antar *baffle* terhadap peningkatan perpindahan panas *shell and tube heat exchanger*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh jarak antar *baffle* pada sisi *shell* terhadap perpindahan panas *shell and tube heat exchanger* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk menyelesaikan permasalahan diatas maka dilakukan tugas akhir dengan tujuan mengetahui jarak antar *baffle* pada sisi *shell* terhadap perpindahan panas *shell and tube heat exchanger*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. *Heat exchanger* yang digunakan adalah *shell and tube heat exchanger*.
2. Jenis *baffle* yang digunakan adalah *flower baffle*.
3. Pemodelan geometri *heat exchanger* dilakukan dalam domain 3 dimensi.
4. Aliran pada *heat exchanger* adalah *steady flow*, *incompressible flow* dan *uniform* pada sisi *inlet*.
5. Persamaan model turbulensi yang digunakan adalah K-epsilon.
6. Kondisi batas pada sisi *inlet* berupa *velocity inlet* dan pada sisi *outlet* berupa *pressure outlet*.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori – teori penunjang yang mendasari Tugas Akhir ini, baik yang bersumber dari buku, jurnal, maupun laporan tugas akhir atau penelitian terkait.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dijelaskan mengenai tahapan – tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas Akhir, dimulai dari studi literatur hingga pengambilan data, pembahasan, dan penarikan kesimpulan.

BAB IV Analisis Data dan Pembahasan

Pada bab ini ditampilkan data yang didapat dari proses simulasi disertai analisisnya. Dari hasil analisis tersebut dilakukan pembahasan sesuai tujuan penelitian.

BAB V Penutup

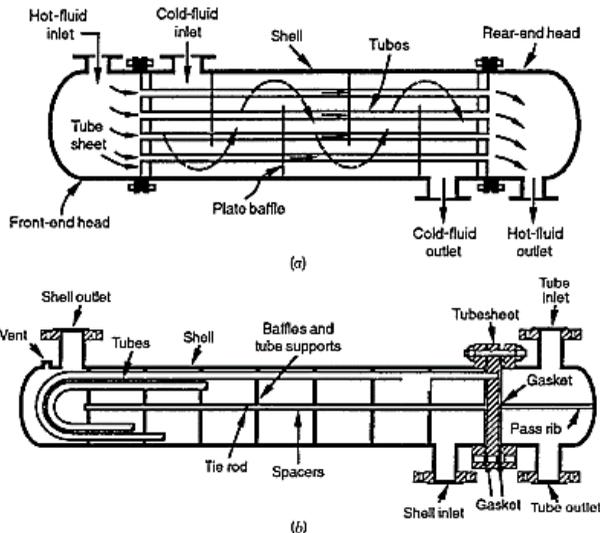
Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan Tugas Akhir serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

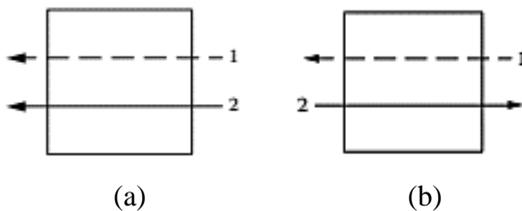
2.1 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah alat yang umum digunakan sebagai media perpindahan panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dan dipisahkan oleh sebuah dinding padat. Berdasarkan konstruksinya, *heat exchanger* terbagi menjadi *tubular heat exchanger*, *plate heat exchanger*, *extended surface heat exchanger*, dan *regenerator*. *Shell and tube heat exchanger* termasuk dalam *tubular heat exchanger*. *Shell and tube* adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang paling banyak digunakan, dan umumnya dirancang khusus yaitu pada temperatur operasi -20°C sampai 500°C dan *pressure drop* operasi maksimum 600 bar.

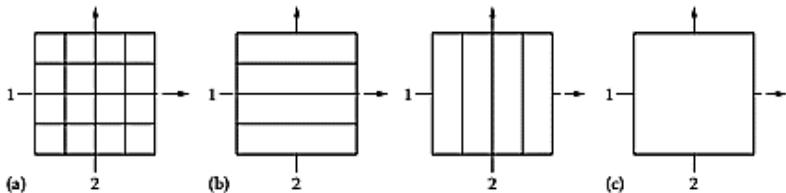


Gambar 2.1 Konstruksi *Shell and Tube Heat Exchanger* (a) *one shell pass and one tube pass* (b) *one shell pass and two tube passes* (Shah & Sekulic, 2003)

Berdasarkan susunan aliran nya, terbagi menjadi *parallel flow*, *counter flow* dan *cross flow*. Pada *parallel flow*, fluida panas dan fluida dingin memiliki arah masuk yang sama dan arah keluar yang sama. Pada *counter flow*, fluida panas dan fluida dingin memiliki arah masuk yang berlawanan begitu juga arah keluar. Sedangkan pada *cross flow*, fluida panas dan fluida dingin arahnya saling tegak lurus.



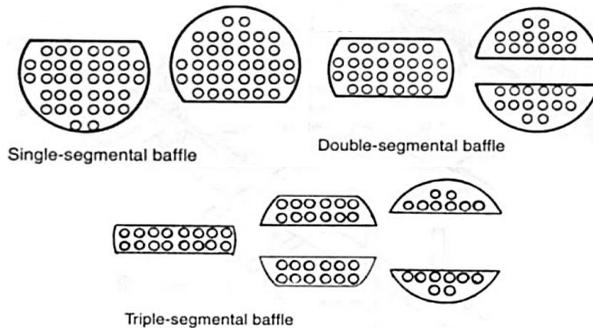
Gambar 2.2 Skematik Arah Fluida (a) *Parallel Flow* (b) *Counter Flow* (Thulukkanam, 2013)



Gambar 2.3 Skematik *Cross flow* (a) *unmixed-unmixed*, (b) *unmixed-mixed*, (c) *mixed-mixed* (Thulukkanam, 2013)

2.1.1 Sekat (*baffle*)

Baffle merupakan salah satu komponen yang memiliki peranan penting dalam *heat exchanger* tipe *shell and tube*. *Baffle* atau sekat berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar *tube* (*shell side*), sehingga proses perpindahan panas akan meningkat diantara kedua fluida dan menahan atau mencegah terjadinya getaran pada *tube*.

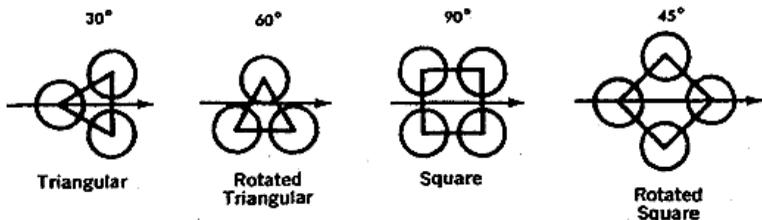


Gambar 2.4 Jenis-jenis *Segmental Baffle*

Jenis *baffle* yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan *baffle* dengan jenis baru, yaitu *flower baffle*. Dikarenakan dalam pembuatan atau konstruksi pada *continuous helical baffle* sulit maka muncul adanya bentuk *flower baffle* (Wang, Huang, Li, Z. Liu & W. Liu .2011)

2.1.2 Susunan *Tube*

Susunan berkas pipa merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan alat penukar panas. Ada dua macam susunan berkas pipa pada alat penukar panas jenis *shell and tube*, yaitu susunan sejajar (*aligned*), dan susunan selang-seling (*staggered*) .



Gambar 2.5 Susunan Pipa (*Tube Layout*)

Selain dari segi susunan, perlu adanya jarak titik pusat dua buah *tube* yang bersebelahan atau disebut dengan *tube pitch*. TEMA memberikan rekomendasi besarnya P_T minimum yaitu

sebesar $1 \times D_{to}$ atau sebesar $D_{to} + 6$ mm, yang memberikan hasil yang paling besar.

2.1.3 Shell

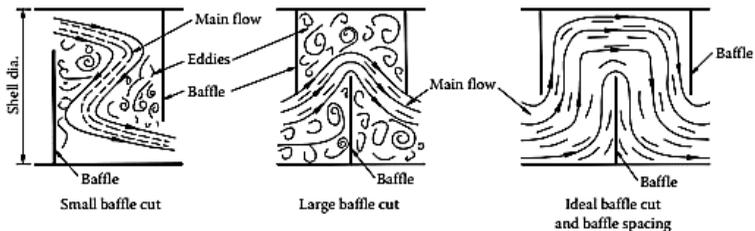
Shell merupakan pembungkus dari serangkaian tube dan mengalir adanya fluida pada sisi *shell*. Terdapat adanya *nozzle* sebagai jalan masuk dan keluar fluida pada sisi *shell*.

2.1.4 Baffle Cut

Baffle cut adalah jarak antara ujung *baffle* dan dinding *shell*. Jarak *baffle cut* (B_c) yang optimum adalah berkisar 25% - 35% dari diameter *shell*. Bila *baffle cut* terlalu besar dari nilai optimal tersebut maka akan menyebabkan berkurangnya efektifitas termal karena akan terjadi penurunan kecepatan aliran fluida (Thulukkanam, 2013)

2.1.5 Baffle Spacing

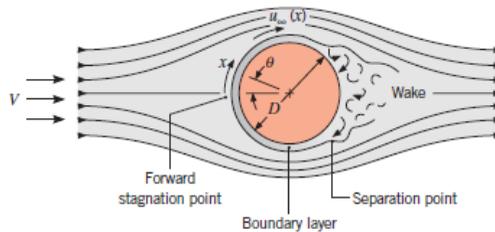
Baffle spacing maksimum adalah sebesar diameter shell (Thulukkanam, 2013). Jika lebih besar dari diameter *shell*, maka aliran yang terjadi akan lebih dominan berupa aliran yang longitudinal terhadap *tube* yang kurang efisien dibandingkan aliran melintang. Jarak *baffle* yang optimum adalah berkisar 40% - 60% dari diameter *shell*. Jarak *baffle* juga tidak boleh lebih kecil dari 1/5 diameter *shell* (TEMA, 2007)



Gambar 2.6 Distribusi Aliran pada Sisi *Shell*

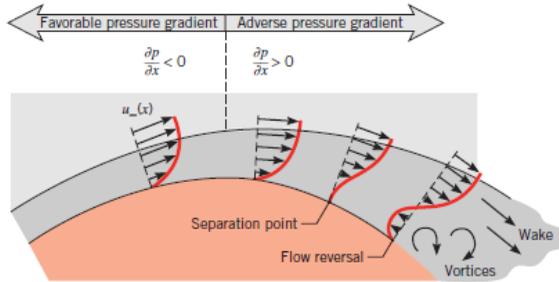
2.2 Aliran Fluida Melintasi Silinder Tunggal

Aliran fluida yang melintasi silinder tunggal pada *heat exchanger* merupakan aliran eksternal dimana arah aliran tegak lurus terhadap sumbu silinder. Pada gambar 2.7 fluida mulai bergerak dari *forward stagnation point* karena adanya peningkatan tekanan. Tekanan akan berkurang seiring bertambahnya nilai x (koordinat *streamline*) dan *boundary layer* yang dipengaruhi oleh gradien tekanan ($dp/dx < 0$).



Gambar 2.7 Fluida Melalui Silinder.

Berdasarkan persamaan Euler, pada $u_\infty = 0$ yaitu *stagnation point*, fluida mengalami percepatan dikarenakan *favorable pressure gradient* ($du_\infty/dx > 0$ ketika $dp/dx < 0$), dan akan mencapai kecepatan maksimal ketika $dp/dx = 0$. Penurunan kecepatan juga akan terjadi karena pengaruh *adverse pressure gradient* ($du_\infty/dx < 0$ ketika $dp/dx > 0$). Hal ini mengakibatkan gradien kecepatan pada permukaan menjadi 0. Pada titik ini, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.8, terbentuk *separation point* dimana fluida tidak memiliki cukup momentum untuk melewati gradien tekanan.

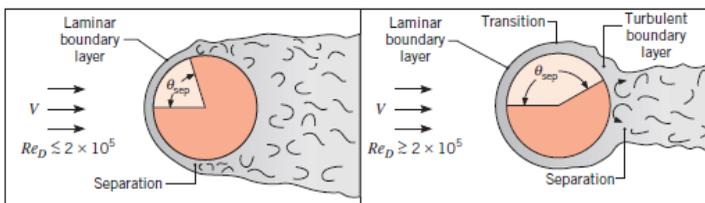


Gambar 2.8 Profil Kecepatan yang Berhubungan dengan *Separation Point*.

Lapisan batas yang terlepas dari permukaan menimbulkan adanya olakan pada daerah *downstream*. Aliran fluida pada daerah tersebut menjadi tidak beraturan. *Boundary layer transition* bergantung pada nilai bilangan *Reynolds*, yang menentukan lokasi *separation point*. Pada silinder bundar, bilangan *Reynolds* didefinisikan sebagai berikut.

$$Re_D = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad 2.1$$

Apabila nilai $Re_D \leq 2 \times 10^5$, maka *boundary layer* tetap bersifat laminar dan pemisahan (*separation*) terjadi pada $\theta = 80^\circ$. Sebaliknya, jika nilai $Re_D \geq 2 \times 10^5$, maka terjadi *boundary layer transition* yang menyebabkan perubahan titik pemisahan menjadi $\theta = 140^\circ$ yang ditunjukkan oleh **gambar 2.9** berikut.



Gambar 2.9 Efek Turbulensi Terhadap Pemisahan.

2.3 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perubahan *boundary layer* pada permukaan silinder mempengaruhi nilai bilangan *Nusselt* untuk aliran silang (*cross flow*). Bilangan *Nusselt* pada aliran silang (*cross flow*) yang melewati sebuah silinder dirumuskan oleh Zukauskas sebagai berikut

$$Nu_D = C Re_{D,max}^m Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4} \quad 2.2$$

Dengan nilai karakteristik C dan m yang dapat diperoleh pada tabel 2.1. Persamaan 2.2 hanya berlaku jika jumlah *tube* > 20 baris. Sedangkan jika jumlah *tube* < 20 baris maka persamaan 2.2 dapat disederhanakan menjadi

$$Nu_{D < 20} = C_2 Nu_D \quad 2.3$$

Dengan nilai C_2 dapat diperoleh melalui tabel 2.2

Tabel 2.1 Konstanta C dan m pada persamaan 2.2

Konfigurasi	Re	C	m
Aligned	$10 - 10^2$	0.8	0.4
Staggered	$10 - 10^2$	0.9	0.4
Aligned	$10^2 - 10^3$	0.51	0.5
Staggered	$10^2 - 10^3$	0.51	0.5
Aligned ($S_T/S_L > 0.7$)	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.27	0.63
Staggered ($S_T/S_L < 2$)	$10^3 - 2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
Staggered ($S_T/S_L > 2$)	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.4	0.60
Aligend	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	0.021	0.84
Staggered	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	0.022	0.84

Tabel 2.2 Konstanta C_2 persamaan 2.3

N	1	2	3	4	5	7	10	13	16
Aligned	0.7	0.8	0.86	0.9	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99
Staggered	0.64	0.76	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

Setelah didapatkan nilai bilangan *Nusselt*, nilai tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya koefisien perpindahan

panas pada *heat exchanger* dengan menggunakan persamaan berikut

$$h = Nu_D \frac{k}{D} \quad 2.4$$

dengan h adalah koefisien perpindahan panas ($\text{Watt/m}^2\text{K}$), k adalah *thermal conductivity* (Watt/m K). Dengan menggunakan metode *log-mean temperature difference* didapatkan nilai ΔT melalui persamaan berikut

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{surface} - T_{inlet}) - (T_{surface} - T_{outlet})}{\ln\left(\frac{T_{surface} - T_{inlet}}{T_{surface} - T_{outlet}}\right)} \quad 2.5$$

Sehingga besarnya perpindahan panas per satuan panjang (Watt/m) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan

$$q = N(h\pi D\Delta T_{lm}) \quad 2.6$$

N merupakan jumlah *tube* pada *heat exchanger*.

2.4 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan proses fisik lain secara numerik. Aliran fluida pada daerah yang terbatas akan dimodelkan dengan persamaan-persamaan tertentu sesuai dengan kondisi batas pada daerah tersebut.

Terdapat 3 tahapan dalam penggunaan CFD yaitu:

a. Pre-Processing

Tahap pre-processing merupakan tahap awal penyelesaian dari permasalahan dengan melakukan beberapa kegiatan seperti berikut.

- Pendefinisian geometri dan domain komputasi.
- Grid generation yaitu membagi domain komputasi menjadi lebih kecil (cell).
- Pendefinisian karakteristik fluida.

- Pendefinisian kondisi batas pada cell yang berbatasan dengan batas domain.

b. Solver

Solusi numerik bisa didapatkan melalui beberapa metode seperti finite difference, finite element dan spectral method. Metode numerik yang menjadi dasar dari solver dalam menyelesaikan masalah adalah sebagai berikut:

- Pendekatan terhadap variabel aliran yang tidak diketahui, dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Substitusi dari pendekatan yang telah dilakukan ke dalam persamaan aliran.
- Menyelesaikan persamaan dengan metode iterasi.

c. Post Processing

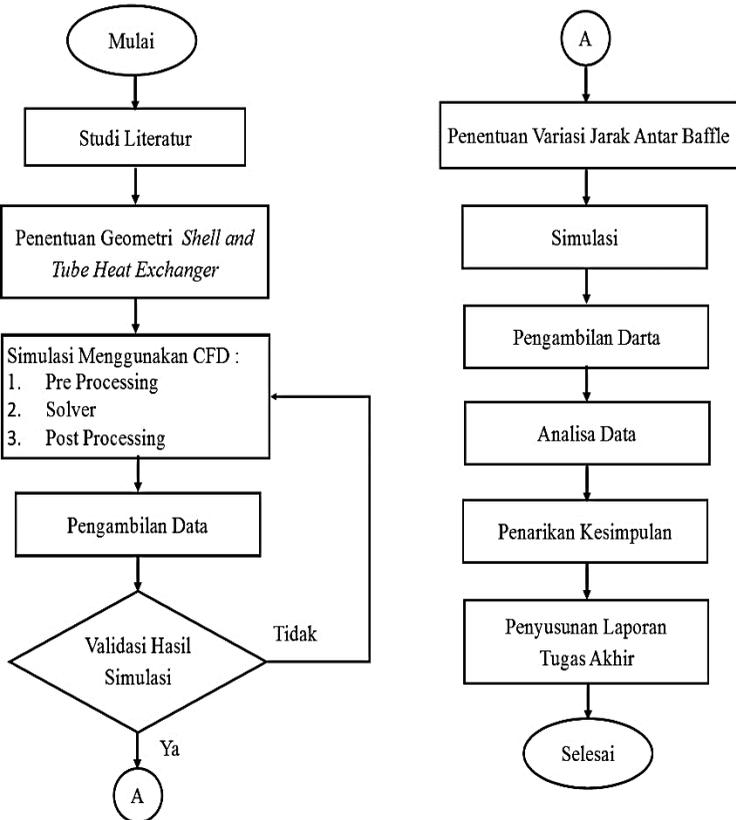
Post processing merupakan tahap akhir dalam CFD. Hasil pengerjaan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, kontur maupun animasi. Beberapa hasil yang dapat ditampilkan diantaranya adalah display grid, plot vector, plot kontur, particle tracking dan lain sebagainya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan urutan langkah penelitian seperti pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Langkah ini dilakukan untuk memberi pemahaman konsep dasar yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Referensi yang digunakan pada tugas akhir ini berasal dari buku dan jurnal ilmiah. Sedangkan konsep dasar yang dipelajari adalah *heat exchanger*, aliran fluida dan perpindahan panas.

3.3 Penentuan Geometri *Shell And Tube Heat Exchanger*

Pada tugas akhir ini, geometri *shell and tube heat exchanger* mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Younghua You, Aiwu Fan, Suyi Huang, Wei Liu (2012). Geometri yang akan disimulasikan hanya berfokus pada bagian *shell*, yang mana pada bagian *shell* terdapat adanya *baffle*, *tube* serta tabung *inlet* dan *outlet shell*.

3.4 Simulasi CFD

Simulasi ini terdiri dari tiga tahap utama yaitu *pre-processing*, *solver* dan *post-processing*. Berikut penjelasan dari masing-masing tahap :

a) *Pre-Processing*

Pada tahap ini meliputi pembuatan geometri, *meshing*, kondisi batas (*boundary condition*) dan *material*. Berikut ini penjelasan dari masing-masing tahap :

1. Pembuatan Geometri

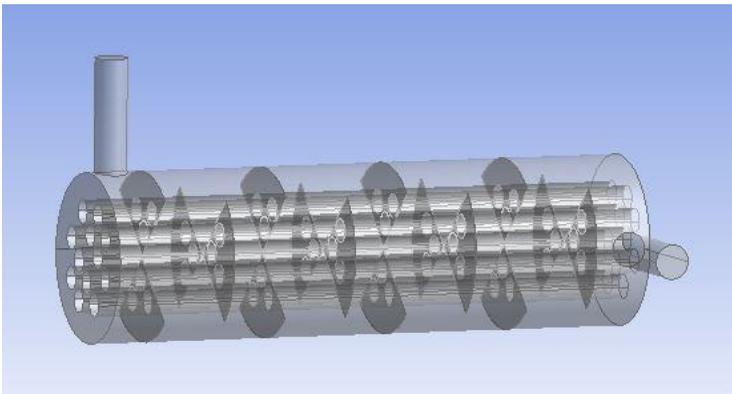
Adapun dalam pembuatan geometri pada tugas akhir ini menggunakan adanya skala penggambaran. Hal tersebut dikarenakan apabila menggunakan kondisi yang sebenarnya maka akan membutuhkan proses yang lama dalam simulasi. Sehingga dibuatlah geometri dengan rincian berikut :

Tabel 3.1 Dimensi *Heat Exchanger*

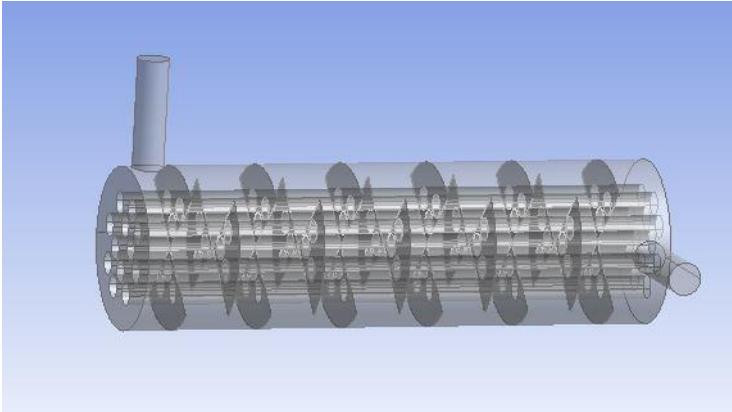
Spesifikasi	Ukuran
Diameter <i>shell</i>	149 mm
Diameter luar <i>tube</i>	21 mm
Panjang <i>shell</i>	500 mm
Jumlah <i>tube</i>	12

<i>Pitch tube</i>	25 mm
Jarak antar <i>baffle</i>	57 mm, 49 mm, 45 mm, 41 mm
Jumlah <i>baffle</i>	8, 9, 10, 11
Ketebalan <i>baffle</i>	0,4 mm

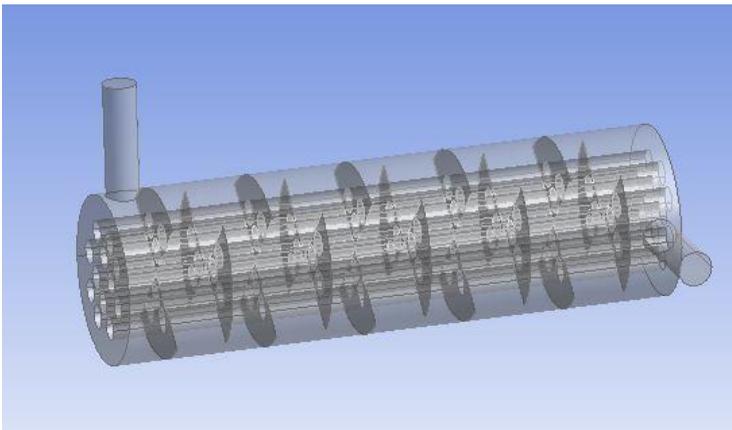
Pada tugas akhir ini terdapat adanya variasi jarak antar *baffle*, yang mana jarak antar *baffle* berbanding terbalik dengan jumlah *baffle*. Semakin kecil jarak antar *baffle* maka semakin banyak jumlah *baffle* yang digunakan. Hal tersebut dapat dilihat melalui **Tabel 3.1** dan **Gambar 3.2**. Variasi jarak antar *baffle* (49 mm; 45 mm; 41 mm) yang dilakukan merujuk pada eksperimen yang dilakukan oleh Lai Xue -Jiang, Li Rui, Dai Yong, Huang Su-Yi (2010) , hal tersebut dikarenakan model *heat exchanger* yang digunakan sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Younghua You, Aiwu Fan, Suyi Huang, Wei Liu (2012). Variasi jarak antar *baffle* yang digunakan ini tidak lebih kecil dari 1/5 diameter *shell*.



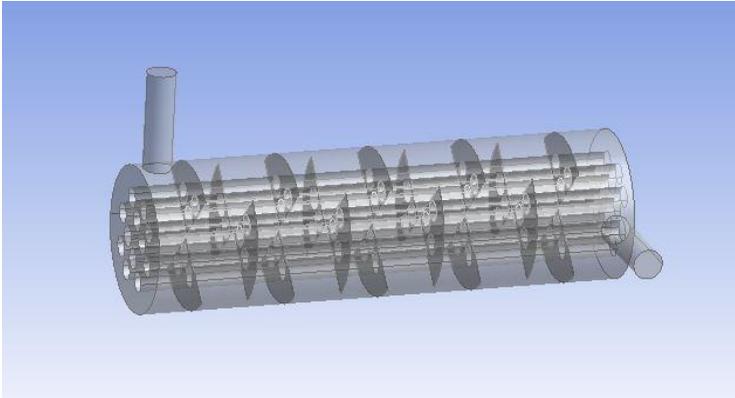
(a)



(b)



(c)



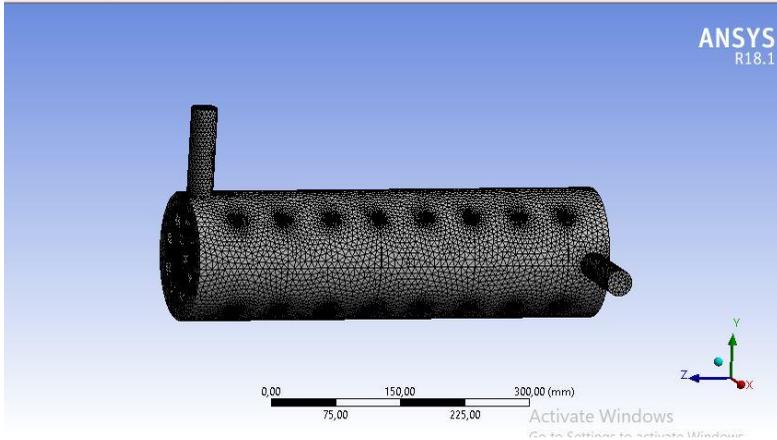
(d)

Gambar 3.2 Variasi Jarak Antar *Baffle* (a) 57 mm (b) 49 mm (c) 45 mm (d) 41 mm

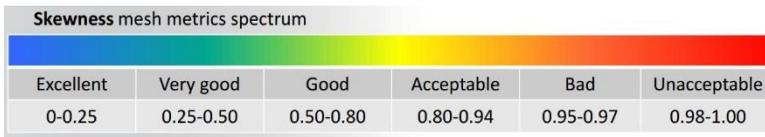
2. Meshing

Meshing adalah proses pembagian geometri yang telah dibuat menjadi elemen-elemen kecil. Pada setiap elemen tersebut akan dilakukan komputasi dengan memasukkan persamaan konservasi energi, momentum dan persamaan lain sehingga dihasilkan sebuah nilai. Semakin kecil ukuran elemen pada geometri yang digunakan maka semakin banyak jumlah elemen yang terbentuk dan mempengaruhi lamanya proses komputasi. Ilustrasi proses meshing ditunjukkan pada **Gambar 3.3**

Selain ukuran, jenis *mesh* juga mempengaruhi kualitas *mesh*. Jenis-jenis *mesh* yang tersedia antara lain *tetrahedron*, *hexagonal*, *sweep* dan *multizone*. Pada tugas akhir ini jenis *mesh* yang digunakan adalah *tetrahedron*. Kualitas *mesh* dapat dinilai dengan beberapa parameter seperti *orthogonal quality* dan *skewness*. Nilai *orthogonal quality* memiliki *range* dari 0 sampai 1. Semakin besar nilai *orthogonal quality* menunjukkan bahwa *mesh* yang telah dibuat memiliki kualitas yang bagus dan juga sebaliknya. Sedangkan nilai *skewness* juga memiliki *range* dari 0 sampai 1. Namun, semakin besar nilai *skewness* menunjukkan bahwa *mesh* yang telah dibuat memiliki kualitas buruk. Gambaran yang menjelaskan kualitas *meshing* terdapat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.3 Meshing



Gambar 3.4 Mesh Metric Spectrum

Hasil *meshing* pada tugas akhir ini ditampilkan pada **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3.2 Hasil *Meshing* untuk Semua Variasi

No	Variasi Jarak Antar Baffle (mm)	Jumlah Elemen	Skewness
1	41	3478996	0.843
2	45	3006556	0.842
3	49	3310194	0.848
4	57	2802986	0.837

Berdasarkan **Tabel 3.2** diatas, hasil *meshing* menunjukkan nilai *skewness* pada rentang 0.837 – 0.848. Mengacu pada *mesh*

metric spectrum seperti **Gambar 3.4**, semua variasi menghasilkan *meshing* dengan kategori *Acceptable*.

3. Kondisi batas (*Boundary Condition*)

Adapun kondisi batas pada tugas akhir ini mengacu pada jurnal yang diterbitkan oleh Younghua You, Aiwu Fan, Suyi Huang, Wei Liu (2012) yaitu:

Tabel 3.3 Kondisi Batas pada Tugas Akhir

Kondisi Batas	Keterangan	
<i>Inlet</i>	Tipe	<i>Velocity Inlet</i>
	Kecepatan air	0.5 m/s
	Temperatur	299.5 K
Dinding <i>Tube</i>	Tipe	<i>Stationary Wall</i>
	Temperatur	329.5 K
<i>Outlet</i>	Tipe	<i>Pressure Outlet</i>

4. *Material*

Dalam hal ini yang dimaksudkan adalah berupa properties fluida kerja yang digunakan pada sisi *shell*. Fluida kerja yang digunakan yaitu air. Adapun properties fluida kerja air yaitu :

Tabel 3.4 Properties Fluida Kerja

Density	996.7 kg/m ³
Specific Heat	4179.4 J/kg.K
Thermal Conductivity	0.6094 W/m.K
Viscosity	0.0008631 kg/m.s

b) *Solver*

Pada tahap *solver*, komputasi akan dilakukan terhadap objek yang telah melewati tahap *pre-processing*. Model turbulensi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah RNG *K-epsilon*. Apabila proses komputasi selesai, maka hasil simulasi dapat dilanjutkan pada tahap *post-processing*.

c) ***Post-processing***

Post-processing adalah tahap terakhir dalam proses simulasi CFD. Pada tahap ini hasil simulasi sudah dapat dilihat dan ditampilkan dalam bentuk grafik, kontur maupun angka.

3.5 Pengambilan Data dan Analisa Data

Setelah melalui proses simulasi CFD, data hasil simulasi berupa kecepatan dan temperatur akan dianalisa lebih lanjut sehingga dapat mencapai tujuan dari tugas akhir ini. Setelah analisa data dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dari tugas akhir ini dan penyusunan laporan tugas akhir dapat dimulai.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

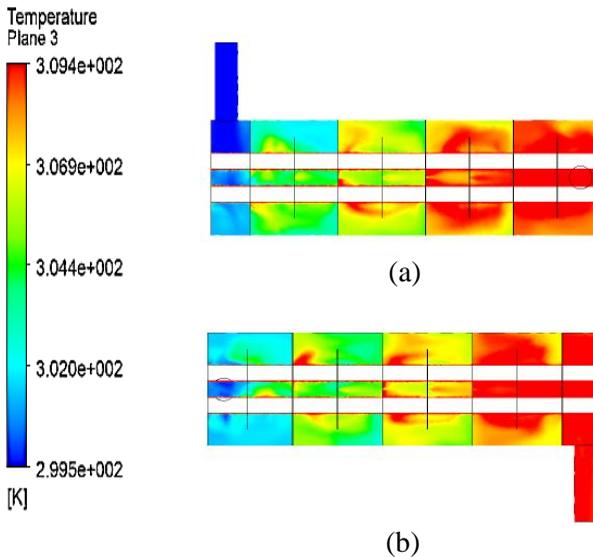
4.1 Validasi Hasil Simulasi

Validasi data merupakan salah satu proses penting dalam suatu penelitian, terutama untuk simulasi. Melalui proses validasi, dapat diketahui kesesuaian hasil simulasi dengan hasil referensi yang digunakan. Dalam tugas akhir ini dilakukan dengan membandingkan antara parameter pada hasil simulasi pada variasi jarak antar *baffle* 57 mm dan referensi dari jurnal Younghua You, Aiwu Fan, Suyi Huang, dan Wei Liu (2012). Parameter yang dibandingkan adalah temperatur keluaran pada bagian *shell*. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa temperatur keluaran yang dihasilkan sebesar 309,35468 K, sedangkan pada hasil jurnal referensi sebesar 305 K. Selisih yang didapatkan dari hasil simulasi dengan hasil jurnal referensi adalah sebesar 4,35468 K atau 1,427764%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa simulasi dari tugas akhir ini sudah tervalidasi.

4.2 Pengaruh Variasi Jarak Antar *Baffle* Terhadap Distribusi Temperatur

Pada sub bab ini, pengaruh variasi jarak antar *baffle* terhadap distribusi temperatur pada *shell and tube heat exchanger* akan dianalisa lebih lanjut. Hasil simulasi CFD yang telah dilakukan dapat dilihat melalui distribusi temperatur

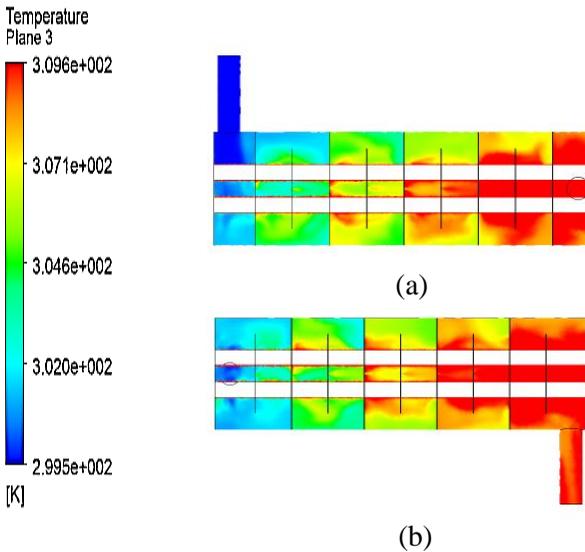
Distribusi temperatur yang dihasilkan terlihat bahwa dari semua variasi jarak antar *baffle* mengalami perubahan temperatur setelah melewati beberapa *baffle* tertentu. Kecepatan inlet yang digunakan sama dan temperatur keluaran yang dihasilkan juga memiliki nilai yang tidak beda jauh, namun memiliki perbedaan distribusi temperatur. Hal tersebut disebabkan karena jumlah *baffle* yang digunakan berbeda-beda, mengakibatkan kecepatan aliran yang dialami pada sisi *shell* juga berbeda. Distribusi kecepatan akan di bahas pada sub bab selanjutnya.



Gambar 4.1 Distribusi Temperatur pada Jarak Antar *Baffle* 57 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Berdasarkan **Gambar 4.1** (a) , didapatkan bahwa distribusi temperatur pada jarak antar *baffle* 57 mm yang dihasilkan cukup merata. Hal tersebut terlihat dari gradasi warna yang berawal dari tabung *inlet shell* dengan warna biru tua dengan temperatur 299,5 K. Kemudian berlahan – lahan berubah warna menjadi jingga dan merah setelah melewati *baffle* terakhir yang memiliki temperatur sekitar 308 K – 309 K.

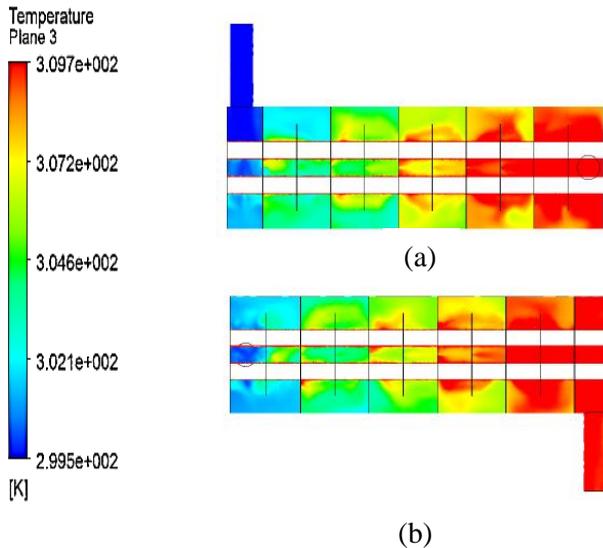
Gambar 4.1 (b) menampilkan distribusi temperatur yang ditinjau dari bidang XZ. Pada bidang ini hampir sama dengan distribusi yang terjadi pada bidang YZ. Namun bidang XZ ini pada mula nya distribusi temperatur yang dihasilkan belum merata yang terlihat pada sebelum dan sesudah melewati *baffle* pertama yang masih dominan memiliki warna biru muda dengan temperatur sekitar 302 K. Dan pada bidang XZ ini terlihat tabung *outlet shell* memiliki warna merah keseluruhan. Sehingga temperatur keluaran rata-rata yang dihasilkan sebesar 309,35468 K.



Gambar 4.2 Distribusi Temperatur pada Jarak Antar *Baffle* 49 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Pada **Gambar 4.2** (a) menunjukkan distribusi temperatur yang dihasilkan oleh jarak antar *baffle* 49 mm yang di tinjau dari bidang YZ. Pola distribusi terlihat bahwa terdapat beberapa kesamaan dengan distribusi temperatur dengan jarak antar *baffle* 57 mm bidang YZ. Namun setelah melewati *baffle* terakhir terdapat warna merah dan warna jingga yang tidak terlalu mencolok seperti jarak antar *baffle* 57 mm.

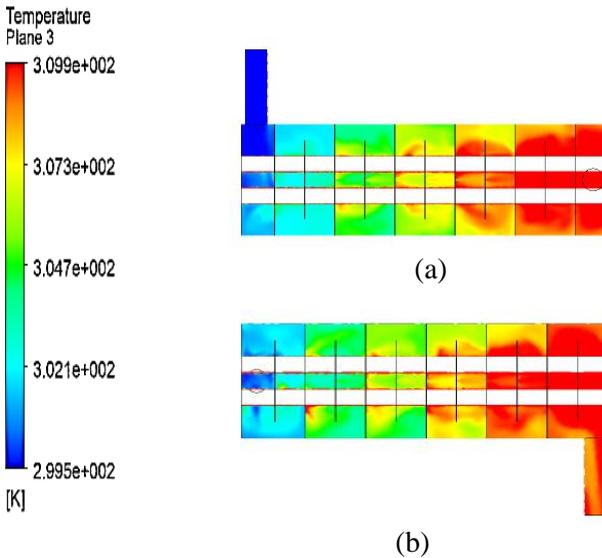
Distribusi temperatur pada jarak antar *baffle* sebesar 49 mm yang di tinjau pada bidang XZ terlihat pada **Gambar 4.2** (b). Distribusi yang dihasilkan terdapat kesamaan dengan jarak antar *baffle* 57 mm bidang XZ. Namun distribusi temperatur yang dihasilkan pada tabung *outlet shell* berbeda yaitu terdapat gradasi warna merah dan jingga. Sehingga temperatur keluaran rata-rata sebesar 309,60383 K.



Gambar 4.3 Distribusi Temperatur pada Jarak Antar *Baffle* 45 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Gambar 4.3 (a) menunjukkan hasil distribusi temperatur pada jarak antar *baffle* 45 mm melalui bidang YZ. Pola distribusi temperatur yang dihasilkan juga mempunyai kesamaan dengan jarak antar *baffle* 57 mm dan 49 mm. Perbedaan terlihat pada bagian setelah melewati *baffle* terakhir yaitu memiliki warna yang merah dan sedikit warna jingga dengan temperatur sekitar 308 K - 309 K. Dan terlihat mulai gradasi berwarna merah ketika setelah melewati *baffle* kelima. Hal tersebut berbeda dari jarak antar *baffle* 57 mm dan 49 mm yang terlihat setelah *baffle* ketiga.

Berdasarkan **Gambar 4.3** (b) terlihat distribusi temperatur yang dihasilkan pada jarak antar *baffle* 45 mm yang ditinjau dari bidang XZ. Pada bidang ini distribusi yang dihasilkan cukup merata. Warna yang dihasilkan setelah melewati *baffle* terakhir yaitu merah keseluruhan. Hal tersebut juga terjadi pada bagian tabung *outlet shell* dan menghasilkan temperatur keluaran rata-rata sebesar 309,71898 K.



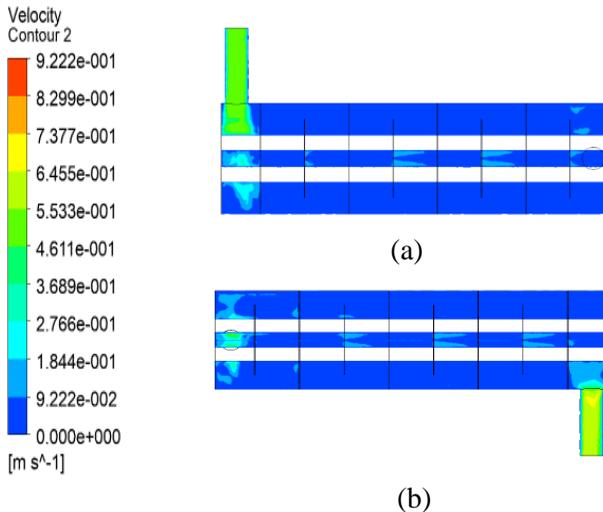
Gambar 4.4 Distribusi Temperatur pada Jarak Antar *Baffle* 41 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Pada **Gambar 4.4** (a) terlihat distribusi temperatur pada bidang YZ dengan jarak antar *baffle* 41 mm. Pada variasi jarak antar *baffle* ini memiliki distribusi yang berbeda dari variasi jarak antar *baffle* yang lain. Hal tersebut terlihat setelah melewati *baffle* kedua yang masih memiliki temperatur yang rendah yaitu sekitar 302 K ditandai dengan warna yang dominan berupa biru muda. Variasi yang lain menunjukkan telah adanya gradasi warna biru muda dan hijau setelah melewati *baffle* pertama.

Gambar 4.4 (b) menampilkan distribusi temperatur pada bidang XZ. Pola distribusi temperatur yang dihasilkan hampir sama dengan jarak antar *baffle* 49 mm. Namun terlihat sedikit perbedaan seperti setelah melewati *baffle* terakhir, yang mana warna merah yang dihasilkan lebih mendominasi daripada warna jingga. Dan pada bagian tabung *outlet shell* memiliki warna merah dan jingga yang terlihat mencolok. Sehingga dihasilkan temperatur keluaran rata-rata sebesar 309,71898 K.

4.3 Pengaruh Variasi Jarak Antar *Baffle* Terhadap Distribusi Kecepatan

Selain analisa dari distribusi temperatur, analisa data juga dilakukan terhadap distribusi kecepatan untuk setiap variasi yang disimulasikan.

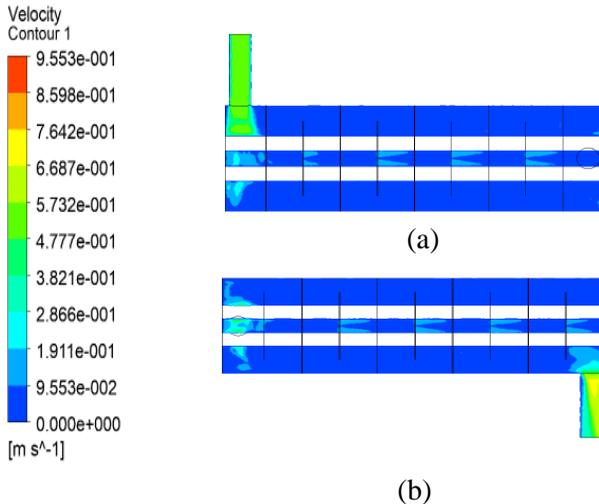


Gambar 4.5 Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar *Baffle* 57 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Distribusi kecepatan pada jarak antar *baffle* 57 mm terlihat pada **Gambar 4.5**. Pada **Gambar 4.5** (a) (b) merupakan distribusi kecepatan ditinjau dari bidang YZ dan XZ. Hasil distribusi menunjukkan pada bagian atas dan bawah *shell* memiliki warna biru tua. Hal tersebut menandakan terjadinya olakan aliran akibat terbenturnya aliran fluida dengan *baffle*, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan rata-rata pada daerah yang dekat dengan *baffle* yaitu sekitar 0,2 m/s. Hal tersebut terlihat jelas melalui vektor kecepatan pada **Gambar 4.9**.

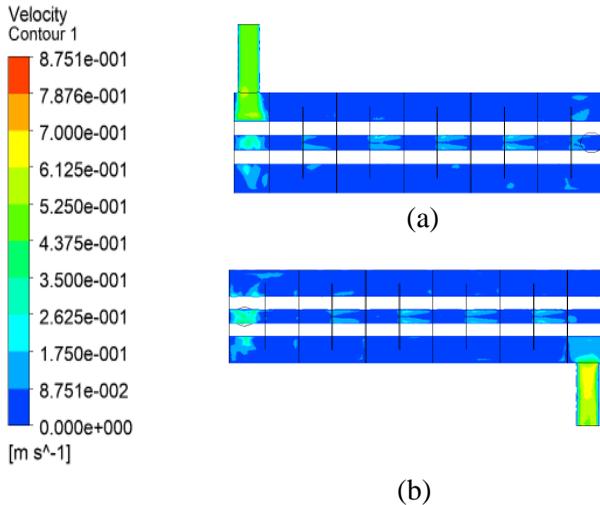
Pada bagian tengah *shell*, setelah melewati beberapa *baffle* tertentu juga terdapat peningkatan kecepatan rata-rata yang terjadi melalui gradasi warna biru muda. Gradasi warna yang dihasilkan

pada sisi tabung *inlet* dan *outlet shell* yaitu berwarna hijau yang memiliki kecepatan sekitar 0,5 m/s. Hal tersebut terjadi karena aliran tidak terjadi olakan akibat pemasangan *baffle*. Pada variasi jarak antar *baffle* 57 mm ini menghasilkan kecepatan maksimal sebesar 0,922163 m/s.



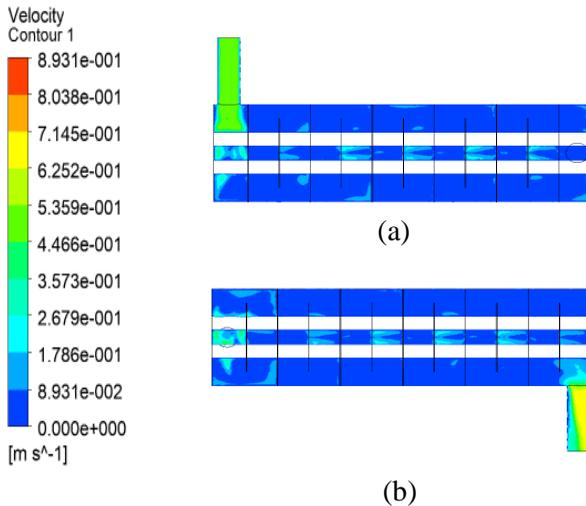
Gambar 4.6 Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar *Baffle* 49 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Berdasarkan **Gambar 4.6** (a) (b) menampilkan distribusi kecepatan pada jarak antar *baffle* sebesar 49 mm melalui bidang YZ dan XZ. Distribusi yang dihasilkan memiliki kesamaan dengan variasi jarak antar *baffle* 57 mm. Namun pada bagian tengah *shell* cenderung memiliki warna biru muda setelah melewati beberapa *baffle* tertentu. Selain itu juga pada tabung *outlet shell* memiliki pola gradasi warna yang berbeda dengan jarak antar *baffle* 57 mm. Dan kecepatan maksimal yang didapatkan yaitu sebesar 0,955305 m/s.



Gambar 4.7 Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar *Baffle* 45 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

Pada **Gambar 4.7** (a) (b) merupakan hasil distribusi kecepatan yang diperoleh dari hasil simulasi. Distribusi kecepatan yang dihasilkan pada bagian atas dan bawah *shell* tersebut sama halnya dengan distribusi kecepatan pada jarak antar *baffle* 49 mm, begitu juga pada bagian tengah *shell*. Namun pada bagian tabung *outlet shell* memiliki gradasi warna yang sama dengan jarak antar *baffle* 57 mm. Pada jarak antar *baffle* 45 mm ini menghasilkan kecepatan maksimal sebesar 0,875058 m/s.

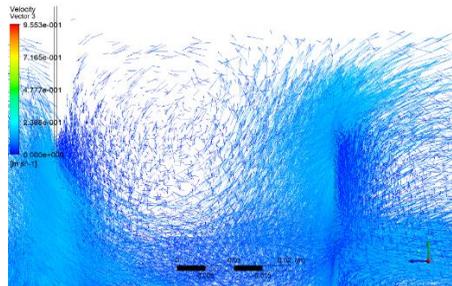
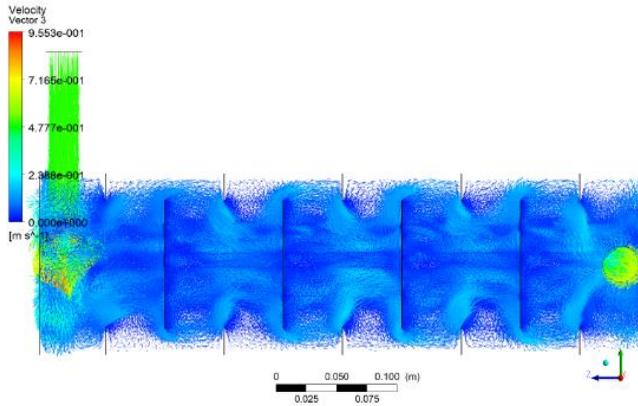


Gambar 4.8 Distribusi Kecepatan pada Jarak Antar *Baffle* 41 mm (a) Bidang YZ (b) Bidang XZ

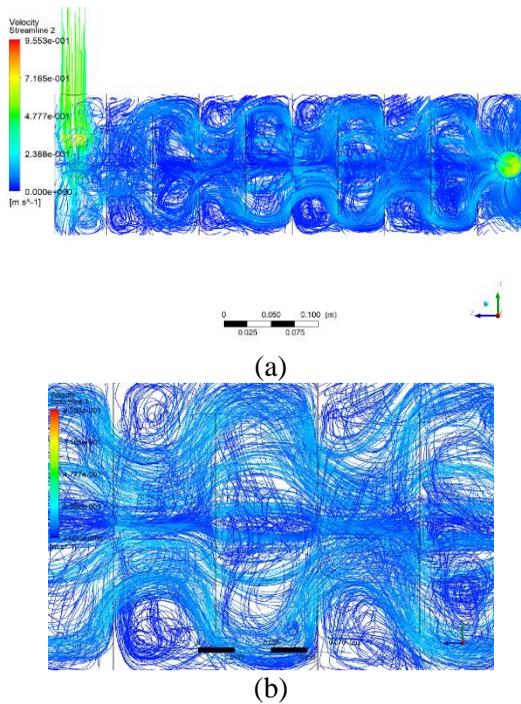
Distribusi kecepatan dengan jarak antar *baffle* sebesar 41 mm ditampilkan pada **Gambar 4.8** (a) (b). Distribusi kecepatan yang diperoleh juga hampir sama dengan variasi jarak antar *baffle* yang lain. Tetapi terlihat bahwa pada bagian tabung *outlet shell* memiliki pola yang sama dengan jarak antar *baffle* 49 mm. Namun gradasi warna kuning yang dihasilkan lebih dominan. Selain distribusi kecepatan, juga diperoleh kecepatan maksimal sebesar 0,893138 m/s.

Selain diperoleh distribusi kecepatan dari hasil simulasi, juga didapatkan berupa vektor kecepatan. Pada vektor kecepatan ini terlihat jelas bahwa aliran mengalami olakan karena pemasangan *baffle*, selain itu juga bisa diketahui fenomena yang terjadi yaitu muncul adanya *recirculation flow*. Aliran yang mengenai *tube* akan terjadi fenomena *wake*. Adanya *wake* yang kemudian mengenai *baffle*, menyebabkan *wake* memiliki arah aliran yang berlawanan dengan aliran lain yang melewatinya. Dari situlah maka terbentuk adanya *recirculation flow*, meskipun *recirculation flow* yang

terjadi memiliki kecepatan yang kecil seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9** (a) (b) dan **Gambar 4.10** (a) (b). Namun tetap menghambat akan perpindahan panas yang terjadi pada *heat exchanger*.



Gambar 4.9 Vektor Kecepatan air (a) Bidang YZ
(b) *Recirculation Flow*



Gambar 4.10 *Streamline* (a) Bidang YZ (b) *Recirculation Flow*

Dalam menganalisa pengaruh variasi jarak antar *baffle* terhadap koefisien perpindahan panas, maka akan lebih mudah jika analisa dengan menggunakan perhitungan bilangan *Reynolds* seperti persamaan 2.1 sehingga didapatkan nilai seperti pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 Perhitungan Bilangan *Reynolds*

Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> (mm)	<i>Max Reynold Number</i>
57	22363,01368
49	23166,72734
45	21220,13977
41	21659,13977

Berdasarkan **Tabel 4.1** diatas diketahui bahwa nilai bilangan *Reynolds* terbesar terjadi pada variasi jarak antar *baffle* 49 mm. Selanjutnya, bilangan *Reynolds* hasil perhitungan akan digunakan untuk menghitung bilangan *Nusselt* menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3. Berikut merupakan hasil perhitungan bilangan *Nusselt* pada tugas akhir ini.

Tabel 4.2 Perhitungan Bilangan *Nusselt*

Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> (mm)	<i>Nusselt Number</i>
57	333,1342531
49	340,2670564
45	322,8172826
41	326,8028341

Perhitungan bilangan *Nusselt* yang sudah dilakukan menunjukkan hubungan linier antara bilangan *Reynolds* dan *Nusselt*. Kemudian, bilangan *Nusselt* yang sudah dihitung dimasukkan ke dalam persamaan 2.4 agar didapatkan nilai koefisien konveksi pada masing-masing variasi seperti pada **Tabel 4.3** berikut.

Tabel 4.3 Nilai Koefisien Konveksi

Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> (mm)	Koefisien Konveksi (W/m ² K)
57	9667,238753
49	9874,225913
45	9367,850095
41	9483,507004

Berdasarkan **Tabel 4.3** diatas nilai koefisien konveksi pada masing-masing variasi jarak antar *baffle* dapat diketahui. Kemudian nilai koefisien konveksi tersebut digunakan untuk menghitung nilai perpindahan panas (*q*) seperti pada **Tabel 4.4** berikut.

Tabel 4.4 Perhitungan Nilai Perpindahan Panas

Variasi Jarak Antar <i>Baffle</i> (mm)	ΔT	q (Watt/m)
57	24,74648914	189298,0876
49	24,60327461	192232,2114
45	24,53686902	181881,8094
41	24,45579023	183518,9259

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka pada tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa kinerja *heat exchanger* yang paling optimal yaitu terletak pada jarak antar *baffle* 49 mm yang memiliki koefisien perpindahan panas tertinggi sebesar 9874,225913 W/m²K dan laju perpindahan panas tertinggi sebesar 192232,2114 Watt/m.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan dalam tugas akhir ini adalah diperlukan penelitian yang mampu mengoptimalkan hasil simulasi terkait peningkatan perpindahan panas seperti adanya penambahan *fin* (sirip) pada bagian *tube heat exchanger*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ariwibowo, T. H., Permatasari, P. D., Ardhiyanga, N., & Triyono, S. (2016). Studi Eksperimen Karakteristik Shell-And-Tube Heat Exchanger Dengan Variasi Jenis Baffle Dan Jarak Antar Baffle. *Ilmu Fisika*, 87-97.
- He, L., & Li, P. (2018). Numerical investigation on double tube-pass shell-and-tube heat exchangers with different baffle configuration. *Applied Thermal Engineering*
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamental of Heat Mass Transfer, 6th Edition*. United State: John Wiley & Sons.
- Jiang, L.X., Rui, L., Yong D., & Huang, S. (2010). Experimental study on integrated performance for flower baffle heat exchanger's distance between two flower baffles. *Applied Mechanics and Materials*, 132-137 (Vol. 29-32)
- Shah, R. K., & Sekulic, D. P. (2003). *Fundamental of Heat Exchanger Design*. United State: John Wiley & Sons.
- Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook Second Edition*. New York: Taylor & Francis Group.
- Tubular Exchanger Manufactures (TEMA). (2007). *Standards of tubular exchanger manufactures association 9th edition*. New York
- Ozden, E., & Tari, I. (2010). Shell side CFD analysis of a small shell-and-tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management* 51, 1004–1014
- Pawar, P. J., & Yadav, R. J. (2016). Experimental investigation of shell-and-tube heat exchanger with different type of baffles. *International Journal of Current and Technology*, 231-235
- Wang, Y., Liu, Z., & Huang, S. (2011). Experimental investigation of shell-and-tube heat exchanger with a new type of baffles . *Heat Mass Transfer* 47, 833-839

You, Y., Fan, A., Huang, S.. & Liu, W. (2012). Numerical modeling and experimental validation of heat transfer and flow resistance on the shell side of a shell-and-tube heat exchanger with flower baffles . *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 7561 - 7569

LAMPIRAN

Perhitungan Bilangan Reynolds

Variasi Jarak Antar Baffle (mm)	V_{maks}	$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu}$	Max Reynold Number
57	0,922163	$\frac{996,7 \times 0,922163 \times 0,021}{0,00008631}$	22363,01368
49	0,955305	$\frac{996,7 \times 0,955305 \times 0,021}{0,00008631}$	23166,72734
45	0,875058	$\frac{996,7 \times 0,875058 \times 0,021}{0,00008631}$	21220,13977
41	0,893138	$\frac{996,7 \times 0,893138 \times 0,021}{0,00008631}$	21659,13977

Perhitungan Bilangan Nusselt

Variasi Jarak Antar Baffle (mm)	$Nu_D = C_1 C_2 Re_{D,max}^m Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$	Nusselt Number
57	$0,401006469 \times 0,92 \times 22363,01368^{0,60} \times 5,924^{0,36} \left(\frac{5,924}{3,172}\right)^{1/4}$	333,1342531
49	$0,401006469 \times 0,92 \times 23166,72734^{0,60} \times 5,924^{0,36} \left(\frac{5,924}{3,172}\right)^{1/4}$	340,2670564
45	$0,401006469 \times 0,92 \times 21220,13977^{0,60} \times 5,924^{0,36} \left(\frac{5,924}{3,172}\right)^{1/4}$	322,8172826
41	$0,401006469 \times 0,92 \times 21659,13977^{0,60} \times 5,924^{0,36} \left(\frac{5,924}{3,172}\right)^{1/4}$	326,8028341

Perhitungan Koefisien Konveksi

Variasi Jarak Antar Baffle (mm)	$h = Nu_D \times \frac{k}{D}$	Koefisien Konveksi (W/m ² K)
57	$333,1342531 \times \frac{0,6094}{0,021}$	9667,238753
49	$340,2670564 \times \frac{0,6094}{0,021}$	9874,225913
45	$322,8172826 \times \frac{0,6094}{0,021}$	9367,850095
41	$326,8028341 \times \frac{0,6094}{0,021}$	9483,507004

Perhitungan ΔT

Variasi Jarak Antar Baffle (mm)	$T_s - T_o$	$T_s - T_i$	$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_o}\right)}$	ΔT_{lm}
57	20,14532	30	$\frac{30 - 20,14532}{\ln\left(\frac{30}{20,14532}\right)}$	24,74648914
49	19,89617	30	$\frac{30 - 19,89617}{\ln\left(\frac{30}{19,89617}\right)}$	24,60327461
45	19,78102	30	$\frac{30 - 19,78102}{\ln\left(\frac{30}{19,78102}\right)}$	24,53686902
41	19,64075	30	$\frac{30 - 19,64075}{\ln\left(\frac{30}{19,64075}\right)}$	24,45579023

Perhitungan q

Variasi Jarak Antar Baffle (mm)	$q = N(h\pi D\Delta T_{lm})$	q (Watt/m)
57	$12 \times 9667,238753 \times 3,14 \times 0,021 \times 24,74648914$	189298,0876
49	$12 \times 9874,225913 \times 3,14 \times 0,021 \times 24,60327461$	192232,2114
45	$12 \times 9367,850095 \times 3,14 \times 0,021 \times 24,53686902$	181881,8094
41	$12 \times 9483,507004 \times 3,14 \times 0,021 \times 24,45579023$	183518,9259

BIODATA PENULIS



Nama penulis yaitu Yunita Kholidaziah Arifiana. Penulis lahir di Jombang pada 12 Juni 1995 dan merupakan anak ketiga dari 4 bersaudara dari Mohammad Ilham dan Siti Mahmudah. Penulis menempuh pendidikan di MI Al-Hidayah Keboan (2002 – 2008), MTsN Bakalan Rayung Jombang (2008 – 2011), SMA Negeri 2 Jombang (2011 – 2014), kemudian melanjutkan jenjang D3 jurusan Metrologi dan Instrumentasi ITS (2014 – 2017) dan penulis di terima pada program Lintas Jalur di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisai maupun kepanitiaan seperti staff departemen Riset dan Teknologi HMTF ITS periode 2015 – 2016, staff magang kementerian Inovasi Karya BEM ITS periode 2014 – 2015, serta kepanitiaan EPW 2015 dan 2016. Selain pengalaman organisasi, penulis mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan program kerja praktik di Pusdiklat Migas Cepu, Blora Jawa Tengah pada tahun 2016 dan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk pada tahun 2018. Penulis memperoleh pengalaman berharga dalam ajang kreatifitas mahasiswa yaitu dengan mengikuti Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) ke - 30 pada tahun 2017 di Universitas Muslim Indonesia, Makassar dan berhasil memperoleh juara favorit presentasi untuk kategori PKM Karsa Cipta dengan judul “ASG (APLIKASI *SMART GRID*) : Penggabungan Energi Matahari dan Jaring Listrik Jala-Jala menggunakan Sistem Penambahan Rangkaian *Summing Amplifier* Sebagai Inovasi Energi Terbarukan”. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka bisa menghubungi penulis melalui *e-mail* : yunitaarifiana@gmail.com

