



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS DESAIN DAN REDESAIN
ALAT PENUKAR KALOR
TIPE *SHELL AND TUBE* DENGAN CFD**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik**

**CANDRA DAMIS WIDIAWATY
1006735763**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KONVERSI ENERGI
DEPOK**

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Candra Damis Widiawaty

NPM : 1006735763

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juli 2012


HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Candra Damis Widiawaty
NPM : 1006735763
Program Studi : Teknik Mesin Konversi Energi
Judul Tesis : Analisis desain dan redesain alat penukar kalor tipe *shell and tube* dengan CFD

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara



Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT



Dr. Ir. Warjito, M.Eng



Dr. Ir. Imansyah Ibnu Hakim, MEng



Steven Darmawan, S.T., M.T



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul Analisis Desain dan Redesain Alat Penukar Kalor *Jenis Shell and tube* dengan CFD. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-sebesarNya atas dukungan dan semangat kepada :

1. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara selaku dosen pembimbing serta Pak Engkos, Pak Imansyah, dan Pak Warjito selaku dosen penguji.
2. Dr. Ir. Adi Surjosatyo selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi selama kuliah
3. Teman-teman kuliah mba Dinni, Mas Arnas, Pak Maswan pemberi hiburan gratis, Pak Sabar, Pak Setya, dan Pasca Mesin 2010 terima kasih atas bantuannya mengedit jurnal, mencari kontrakan, memberi semangat dan lainnya. Lab CFD TIM FTUI Pak Udiyono, Pak Steven, Hadid, Mursyid yang telah membantu dalam proses penyelesaian riset ini.
4. CCIT team(Pak Dodi, Mba Nesi, Mba Evi, Mba yayuk, Mba Putri, Ibu Dina, Serta Agus dan Istri) terima kasih bantuan sisi fasilitas dan dukungannya
5. Tetanggaku di Beji yang telah membantu menjaga Faizah dan Rumah Kost
6. Mama, papa, Apri, dan suami tersayang yang selalu mendoakan dan memberikan waktu untuk menjaga Faizah.
7. PT Global Sukses Radiator terutama Mr Muji, Ko Ahui, Pak Urip, Enci, Risti, dan Mr Syamsudin yang telah memberikan fasilitas pabrik dan dorongan semangat

Akhir kata, semoga ALLAH SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 10 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Candra Damis Widiawaty
NPM : 1006735763
Program Studi : Teknik Mesin Konversi Energi
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS DESAIN DAN REDESAIN ALAT PENUKAR KALOR
TIPE *SHELL AND TUBE* DENGAN CFD**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2012

Yang menyatakan



(Candra Damis Widiawaty)

ABSTRAK

Nama : Candra Damis Widiawaty
Program studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Desain dan Redesain Alat Penukar Kalor Tipe *Shell and Tube* dengan Metode CFD

Riset ini bertujuan melakukan analisis prosedur desain dan redesain alat penukar kalor tipe *shell and tube* dengan CFD pada *reboiler* turbin mikro bioenergi proto x-2 dan *CO₂ stripper reboiler* PT Pupuk Iskandar Muda. Metode desain dimulai dari kalkulasi manual metode Kern dan konstrain desain *pressuredrop* di sisi *tube* harus di bawah 277 Pa. Kemudian dilakukan simulasi 1 fasa SolidWork 2010 dan 2 fasa dengan software CFDSoft. Metode redesain diawali dari analisis kondisi terpasang dilanjutkan dengan redesain dengan 3 model. Fokus redesain adalah untuk menganalisis korosi pendidihan dengan CFD dan perubahan desain untuk mengurangi fraksi uap.

Eksperimen *reboiler* turbin dan hasil simulasi menunjukkan peningkatan temperatur pada titik ukur 1 lebih cepat dibandingkan dengan titik ukur 2, sehingga uap lebih dulu terbentuk pada titik ukur 1. Hasil simulasi menunjukkan pembentukan uap mulai terjadi pada jarak 85 mm dari *tubesheet*. Berdasarkan simulasi 2 fasa, model redesain 2 yaitu posisi *outlet shell* 880 mm dari *tubesheet* adalah yang terbaik karena proses pendidihan lebih sedikit yang direpresentasikan oleh pembentukan fraksi uap tertinggi hanya 0,0002. Dengan menggunakan simulasi CFD, desain *reboiler CO₂ stripper reboiler* lebih baik dibandingkan desain *reboiler* turbin, karena pada *reboiler CO₂ stripper reboiler* penguapan terjadi mendekati *outlet* sehingga uap lebih mudah keluar.

Kata kunci : *shell & tube, reboiler*, simulasi, dan CFD

ABSTRACT

Name : Candra Damis Widiawaty
Major : Mechanical Engineering
Title : Design and Redesign Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger Using CFD

The aimed of this researched is analyzed procedure of design and redesign shell and tube heat exchanger used CFD for micro bioenergy gas turbine proto x-2 and CO₂ stripper reboiler's PT Pupuk Iskandar Muda. The design method was started with manual calculation using Kern method and the constrain was pressuredrop exhaust gas must be under 277 Pa. The next step was simulated the model with SolidWork 2010 for one phase and CFDSof for two phase. The method of redesign was previously analyzed the existing condition and then continued with changed the original model with 3 redesign model which is produced less vapor fraction.

The experiment and simulation of turbine reboiler showed that the temperature of water increasing faster at measuring point 1 than measuring point 2 therefore water vapor started at 85 mm from *inlet* of exhaust gas. The redesign 2 which is the distance *outlet* 880 mm from tubesheet was the best design because it's produced the lowest vapor fraction 0,0002. On all the CFD could showed the pendidihan process for both of the reboiler, it showed that the CO₂ stripper reboiler design was better than the turbine reboiler because the vaporation was started near the *outlet*.

Keyword : shell & tube, reboiler, simulation, and CFD

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR RUMUS.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Perpindahan Panas.....	4
2.2 Klasifikasi <i>Heat Exchanger</i>	7
2.3 Komponen <i>Shell And Tube</i>	7
2.4 Desain <i>Shell And Tube</i>	10
2.5 <i>Computational Fluid Dynamic</i>	12
2.6 Perkembangan Dan Aplikasi CFD.....	14
2.7 Korosi.....	14
2.8 Aplikasi CFD Pada <i>Shell And Tube</i> Dan Analisis Korosi.....	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Prosedur Desain <i>Reboiler</i> Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2.....	20
3.2 Prosedur Redesain <i>CO₂ Stripper Reboiler</i>	21
3.3 Pengukuran Desain <i>Reboiler</i> Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2 ..	22

3.4	Pengukuran Redesain CO ₂ <i>Stripper Reboiler</i>	24
BAB 4 MODEL SIMULASI		25
4.1	Validasi <i>Mesh</i>	25
4.2	Simulasi <i>Reboiler</i> Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2	26
4.2.1	Simulasi <i>Reboiler</i> Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2	26
4.2.2	Prosedur Simulasi <i>Reboiler</i>	27
4.3	Simulasi <i>Reboiler</i> Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2	30
4.3.1	Simulasi <i>Reboiler</i> Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2	30
4.3.2	Prosedur Simulasi CO ₂ <i>Stripper Reboiler</i>	33
BAB 5 PEMBAHASAN.....		38
5.1	Analisis <i>Reboiler</i> Turbin Mikro Bioenergi Proto X-2.....	38
5.1.1	Simulasi Desain <i>Reboiler</i> Turbin Mikro	38
5.1.2	Validasi Dinamika Fluida Hasil Simulasi.....	40
5.2	Analisis Simulasi Redesain CO ₂ <i>Stripper Reboiler</i>	45
BAB 6 KESIMPULAN.....		57
6.1	Kesimpulan.....	57
6.2	Saran.....	57
DAFTAR REFERENSI.....		58

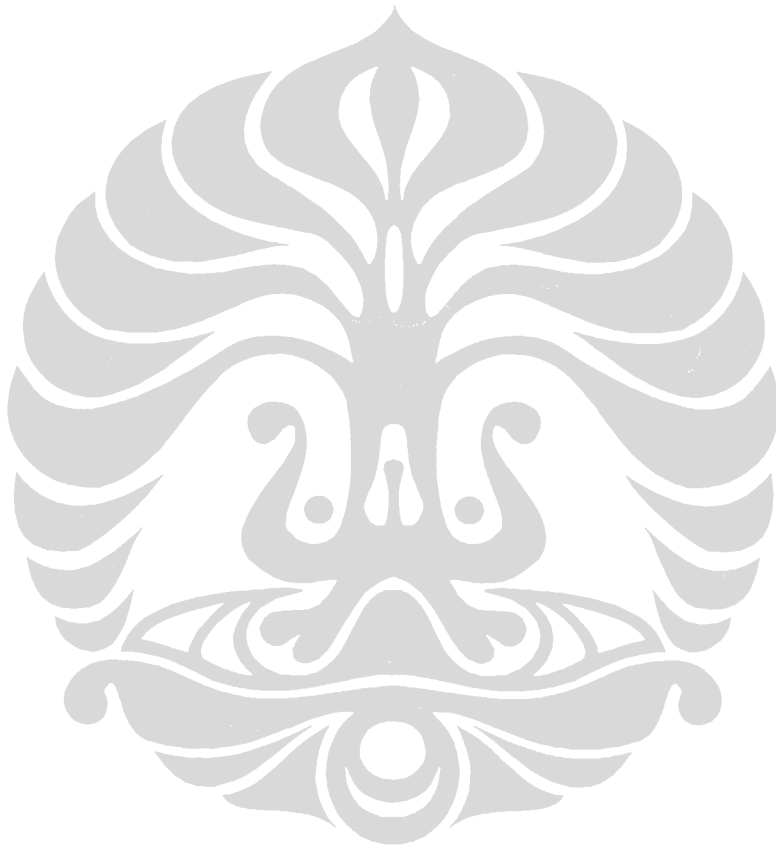
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses konduksi pada logam.....	5
Gambar 2.2.	Proses konveksi.....	6
Gambar 2.3.	Komponen <i>shell and tube</i> (Gaddis, 2007).....	8
Gambar 2.4.	Susunan <i>tube</i> (Gaddis, 2007).....	9
Gambar 2.5.	Laluan <i>tube</i> (Gaddis, 2007).....	9
Gambar 2.6.	Jenis <i>Baffle</i>	10
Gambar 2.7.	Korosi seragam dan korosi erosi.....	16
Gambar 2.8.	Desain detail mencegah korosi awal (H.Ackerman et.al.,1987).....	17
Gambar 2.9.	<i>Rubber lining</i> dan <i>ceramic coating</i>	18
Gambar 3.1.	Diagram alir desain <i>reboiler</i> turbin.....	20
Gambar 3.2.	Diagram alir redesain CO ₂ <i>Stripper Reboiler</i>	21
Gambar 3.3.	Skema pengukuran <i>reboiler</i> turbin gas mikro bioenergi proto x-2	23
Gambar 3.4.	Skema pengukuran <i>reboiler</i> CO ₂ <i>stripper reboiler</i>	24
Gambar 4.1.	<i>Default mesh</i> desain <i>reboiler</i> turbin.....	25
Gambar 4.2.	Optimum <i>mesh</i> pada desain <i>reboiler</i> turbin.....	25
Gambar 4.3.	Model desain <i>reboiler</i> turbin dengan SolidWork 2010.....	27
Gambar 4.4.	Model desain <i>reboiler</i> turbin dengan CFDSof.....	27
Gambar 4.5.	<i>Meshing reboiler</i> turbin dengan SolidWork 2010.....	28
Gambar 4.6.	<i>Meshing reboiler</i> turbin dengan CFDSof.....	28
Gambar 4.7.	Skema CO ₂ <i>stripper reboiler</i>	31
Gambar 4.8.	<i>Pitch tube</i>	32
Gambar 4.9.	Korosi <i>tube</i> CO ₂ <i>stripper reboiler</i>	32
Gambar 4.10.	Model simulasi CO ₂ <i>stripper reboiler</i> dengan SolidWork 2010.....	33
Gambar 4.11.	Model simulasi CO ₂ <i>stripper reboiler</i> dengan CFDSof.....	33
Gambar 4.12.	Model simulasi redesain 1 CO ₂ <i>stripper reboiler</i>	34
Gambar 4.13.	Model simulasi redesain 2 CO ₂ <i>stripper reboiler</i>	34
Gambar 4.14.	Model simulasi redesain 3 CO ₂ <i>stripper reboiler</i>	34
Gambar 4.15.	<i>Meshing</i> CO ₂ <i>Stripper Reboiler</i> dengan SolidWork.....	34
Gambar 4.16.	<i>Meshing</i> CO ₂ <i>Stripper Reboiler</i> dengan CFDSof.....	34
Gambar 5.1.	Distribusi temperatur air pada <i>reboiler</i> turbin dengan SolidWork(Hadid,2012).....	39
Gambar 5.2.	Distribusi temperatur air pada <i>reboiler</i> turbin dengan CFDSof 1 fasa.....	39
Gambar 5.3.	Setting <i>reboiler</i> turbin proto x-2.....	40
Gambar 5.4.	Foto eksperimen.....	41
Gambar 5.5.	Titik pengukuran temperatur <i>reboiler</i> turbin.....	41
Gambar 5.6.	Grafik distribusi temperatur air pada <i>reboiler</i> turbin hasil ekperimen.....	42
Gambar 5.7.	Grafik distribusi temperatur air pada <i>reboiler</i> turbin hasil simulasi	43
Gambar 5.8.	Distribusi temperatur air pada <i>reboiler</i> turbin 2 fasa.....	43
Gambar 5.9.	Distribusi fraksi uap pada <i>reboiler</i> turbin 2 fasa.....	44

Gambar 5.10.	Distribusi kecepatan air pada <i>reboiler</i> turbin 2 fasa	45
Gambar 5.11.	Distribusi temperatur amdea solution pada <i>CO₂ stripper reboiler</i> dengan SolidWork.....	46
Gambar 5.12.	Distribusi temperatur amdea solution pada <i>CO₂ stripper reboiler</i> dengan CFDSof 2 fasa	47
Gambar 5.13.	Distribusi kecepatan amdea Solution pada <i>CO₂ stripper reboiler</i> dengan CFDSof 2 fasa	48
Gambar 5.14.	Distribusi fraksi uap amdea solution pada <i>CO₂ stripper reboiler</i> dengan CFDSof 2 fasa tampak depan	49
Gambar 5.15.	Distribusi fraksi uap amdea solution pada <i>CO₂ stripper reboiler</i> dengan CFDSof 2 fasa tampak atas	49
Gambar 5.16.	Grafik fraksi uap <i>CO₂ stripper reboiler</i> terpasang	50
Gambar 5.17.	Deret volta.....	51
Gambar 5.18.	Model geometri redesain <i>CO₂ stripper reboiler</i>	52
Gambar 5.19.	Distribusi temperatur amdea solution pada redesain 1 <i>CO₂ stripper reboiler</i>	53
Gambar 5.20.	Distribusi temperatur amdea solution pada redesain 2 <i>CO₂ stripper reboiler</i>	53
Gambar 5.21.	Distribusi temperatur amdea solution pada redesain 3 <i>CO₂ stripper reboiler</i>	53
Gambar 5.22.	Distribusi kecepatan amdea solution pada redesain 1 <i>CO₂ stripper reboiler</i>	54
Gambar 5.23.	Distribusi kecepatan amdea solution pada redesain 2 <i>CO₂ stripper reboiler</i>	54
Gambar 5.24.	Distribusi kecepatan amdea solution pada redesain 3 <i>CO₂ stripper reboiler</i>	54
Gambar 5.25.	Grafik perbandingan fraksi uap amdea solution pada <i>CO₂ stripper reboiler</i> kondisi terpasang dengan redesain.....	55
Gambar 5.26.	Grafik perbandingan fraksi uap amdea soluiton ketiga redesain <i>CO₂ stripper reboiler</i>	55
Gambar 5.27.	Diagram alir pengembangan desain dan redesain dengan CFD..	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan konveksi alami dengan konveksi paksa.....	6
--	---



DAFTAR RUMUS

Nomenclatur

A	Luas penampang, m ²
A _o	Luas selimut berdasarkan diameter luar, m ²
B	Jarak antara <i>baffle</i> , m
C	Clearance between <i>tube</i> , m
cp	Kalor jenis, J/kg K
CTP	Konstanta jumlah <i>pass tube</i> (1 <i>pass</i> 0,93 ; 2 <i>pass</i> 0,90; 3 <i>pass</i> 0,85)
D	Diameter, m
dA	Perubahan luas, m ²
d _q	Perpindahan kalor konduksi, kW
f	Friksi
G	Laju massa, kg/s m ²
h	Koefisien pindah panas konveksi, W/m ² K
k	Konduktivitas termal, W/m K
L	Kalor laten, J/kg
L	Panjang, m
m	Laju massa, kg/s
Nb	Jumlah <i>baffle</i> , pcs
Nu	Nusselt number
P	Tekanan, kPa
Pr	Bilangan Prandtl
PR	<i>Tube pitch</i> rasio
Pt	<i>Tube pitch</i> , m
Q	Kapasitas kerja, kW
q _c	Perpindahan kalor konveksi, kW
q _l	Kalor laten, kW
q _s	Kalor sensibel, kW
r	Jari-jari, m
Re	Reynold number
Ra	Rayleigh number
T	Temperatur, °C

U	Perpindahan kalor total, $W/m^2 K$
u	Kecepatan arah sumbu x (m/s)
v	Kecepatan, m/s
w	Kecepatan arah sumbu y (m/s)
ΔP	<i>Pressuredrop</i> , kPa
ΔT	Perubahan temperatur, $^{\circ}C$

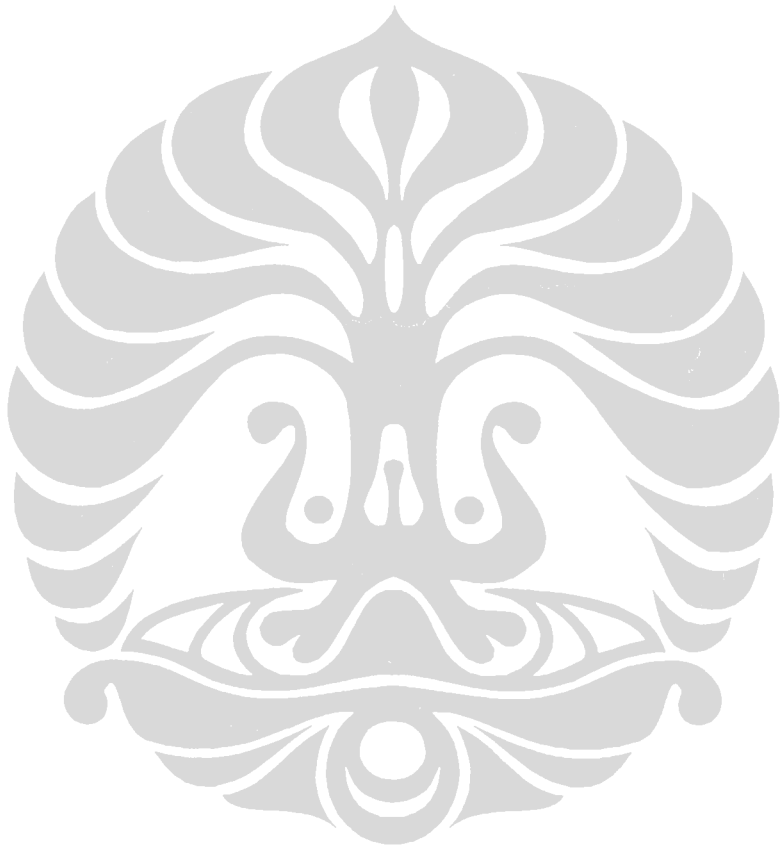
Simbol Yunani

ρ	Massa jenis, kg/m^3
μ	Viskositas, Pas

Subskrip

c	Fluida dingin
e	<i>Equivalent</i>
h	Fluida panas
i	Dalam
LMTD	<i>Log mean temperatur different</i>
o	Luar
s	<i>Shell</i>
t	<i>Tube</i>

DAFTAR LAMPIRAN



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kinerja merupakan skala prioritas dalam mendesain suatu alat penukar kalor. Parameter keberhasilan suatu desain adalah kinerja desain tercapai dan umur pakai optimum. Prosedur desain suatu alat penukar kalor berdasarkan kalkulasi dan eksperimen, namun saat ini desain dan pengembangan desain dapat dilakukan dengan metode CFD. Perkembangan metode CFD dalam melakukan desain dan redesain berkembang pesat karena dapat melakukan simulasi untuk suatu kondisi yang ekstrim seperti sistem bertekanan dan bertemperatur tinggi, sistem pembakaran, dan lainnya dimana sistem tersebut dapat meledak jika dilakukan eksperimen pada sistem yang tidak presisi. Selain itu salah satu keunggulan CFD adalah dapat menggambarkan fenomena fluida yang terjadi pada sistem sehingga dapat dilakukan optimasi desain.

CFD adalah salah satu metode yang diaplikasikan dalam bentuk persamaan atur pada perangkat lunak, saat ini banyak *software* CFD seperti : SolidWork, Fluent, CFDSOFT, Ansys, dan lainnya. *Software* CFD adalah alat bantu yang sangat dipengaruhi oleh parameter kondisi batas yang diberikan sehingga diperlukan kondisi batas yang tepat untuk mendapatkan hasil yang akurat serta sesuai dengan teori dasar. Tahapan prosedur simulasi juga harus dilakukan supaya hasil simulasi akurat, seperti :

- penyesuaian sistem *existing* dengan fasilitas *software* dan *hardware* seperti penggunaan *porous media* untuk *tube bundle* berdimensi besar
- simulasi bertahap yaitu dimulai dari sistem yang sederhana dilanjutkan sampai kondisi terpasang pada sistem
- pengaturan kerapatan *mesh* yaitu menggunakan kerapatan *mesh* optimum dimana hasil simulasi tidak berubah jika kerapatan *mesh* ditingkatkan atau dikenal dengan istilah validasi *mesh*.

Riset ini menganalisis prosedur desain untuk *reboiler* air dan redesain CO₂ *stripper reboiler* yang digunakan oleh PT Pupuk Iskandar Muda, Aceh, Indonesia

dimana redesain bertujuan untuk mengurangi fraksi uap yang terbentuk pada sistem. Prosedur desain melalui perhitungan dengan metode Kern dilanjutkan dengan simulasi dan eksperimen. Prinsip desain dan redesain berdasarkan konsep perancangan dan pengembangan produk seperti kualitas produk, biaya produk, waktu pengembangan produk, biaya pengembangan, dan kapabilitas pengembangan.

1.2 Perumusan Masalah

- Desain *reboiler* air dengan menggunakan metode Kern yang dilanjutkan dengan simulasi dan dilakukan validasi fenomena fluida hasil eksperimen dengan hasil simulasi
- Analisis korosi pendidihan pada *CO₂ stripper reboiler* dengan menggunakan CFD Sof setelah itu dilakukan redesain dengan 3 desain baru.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prosedur desain dan redesain dengan metode CFD yang diaplikasikan pada alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang digunakan sebagai *reboiler* air dan *CO₂ stripper reboiler*.

1.4 Batasan Masalah

Desain

- Temperatur gas buang mikro turbin *inlet* alat penukar kalor 300 °C dan laju massa 0,17 kg/s
- Temperatur air *inlet* 30°C dan laju massa 0,01 kg/s
- Material *shell* dan *tube* adalah besi
- Jumlah *pass tube* satu dan jumlah *pass shell* satu
- Kalkulasi awal dilakukan dengan metode Kern
- Simulasi dengan menggunakan *software* Solidwork 2010 dan CFD Sof

Redesain

- Temperatur *Amdea Solution* 123°C dan laju massa 236,4 kg/s
- Simulasi menggunakan *software* SolidWork dan CFD Sof
- *Tube bundle* pada simulasi direpresentasikan dengan *radiator* (CFD Sof)

Universitas Indonesia

1.5 Metodologi Penelitian

Prosedur metodologi yang dilakukan sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur adalah rangkaian proses mengumpulkan referensi yang berkaitan dengan topik penelitian yang berasal dari buku, internet dan jurnal.

2. Desain *reboiler* turbin dengan metode Kern

3. Investigasi personal

Investigasi personal adalah proses mendapatkan informasi lokasi korosi, parameter input simulasi, kondisi operasional dan lingkungan, serta riwayat alat yang didapatkan dari *Engineering* PT Pupuk Iskandar Muda.

4. Simulasi fenomena fluida pada *shell and tube heat exchanger*

5. Simulasi pindah panas satu fasa pada *shell and tube*

- Prosedur simulasi menentukan jumlah *mesh* optimal dilakukan.
- Pemodelan simulasi dimulai dari kondisi sederhana sampai kondisi mendekati kondisi nyata sehingga perubahan fenomena fluida dapat direkan.
- Pemodelan pindah panas menggunakan persamaan umum pindah panas.
- Simulasi menggunakan dua *software* yaitu SolidWork 2010 dan CFDSoft sehingga dapat dilakukan perbandingan antara kedua simulasi dengan data lapangan.

6. Simulasi dua fasa

Simulasi ini menggunakan software CFDSoft untuk mengamati proses pendidihan serta pembentukan uap. Pengamatan analisis difokuskan pada daerah korosi. Pada simulasi ini diaktifkan multi fasa dan spesies. Hasil analisis simulasi *existing equipment* dijadikan acuan redesain yang mampu mengurangi faktor penyebab korosi.

7. Analisis dan kesimpulan hasil simulasi

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Kalor

Definisi perpindahan kalor adalah cabang ilmu yang mempelajari tentang perpindahan energi (dalam bentuk kalor) antara fluida atau benda yang berbeda temperatur. Perpindahan kalor ini akan terus berlangsung sehingga kedua fluida atau benda mencapai keseimbangan energi sesuai dengan Asas Black “Kalor yang diterima sama dengan kalor yang diserap”. Cabang ilmu inilah yang digunakan untuk mendesain dan mengoptimasi alat penukar kalor. Secara umum kalor terdiri dari kalor sensibel dan kalor laten. Kalor sensibel adalah kalor yang dibutuhkan untuk menurunkan atau menaikkan temperatur sedangkan kalor laten adalah kalor yang dibutuhkan untuk berubah fasa. Persamaan umum kalor sensibel dan kalor laten adalah sebagai berikut :

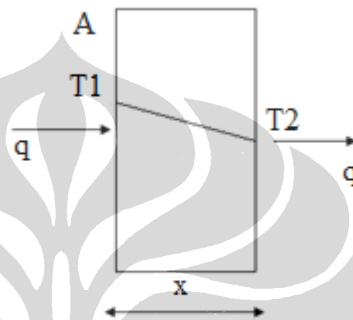
$$q_s = m \times c_p \times \Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

$$q_l = m \times L \dots\dots\dots (2.2)$$

Proses perpindahan kalor terdiri dari konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi proses perpindahan kalor secara intramolekuler. Perpindahan kalor konduksi dapat terjadi dalam dua proses berikut :

- Pemanasan pada satu ujung zat menyebabkan partikel-partikel pada ujung bergetar lebih cepat dan temperaturnya naik sehingga energi kinetiknya bertambah. Partikel-partikel yang memiliki energi kinetik lebih besar akan memberikan energinya pada partikel-partikel yang memiliki energi kinetik lebih rendah melalui tumbukan begitu seterusnya sehingga energi kinetik semua partikel mendekati seragam. Proses perpindahan kalor seperti ini berlangsung lambat karena untuk memindahkan lebih banyak kalor diperlukan beda temperatur yang tinggi diantara dua ujung.
- Pada logam, kalor dipindahkan melalui elektron-elektron bebas yang terdapat dalam struktur atom logam. Elektron bebas adalah elektron

yang dapat berpindah dengan mudah dari atom satu ke atom yang lainnya. Ditempat yang dipanaskan energi elektron-elektron bertambah besar. Oleh karena elektron bebas mudah berpindah, penambahan energi ini dengan cepat dapat diberikan ke elektron-elektron lain yang letaknya lebih jauh melalui tumbukan, dengan cara ini kalor berpindah lebih cepat. Dengan demikian, logam tergolong konduktor yang sangat baik. Proses pindah kalor konduksi dapat dilihat pada gambar berikut :



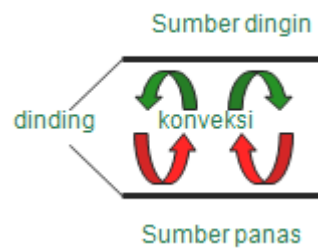
Gambar 2.1 Proses konduksi pada logam.

Ilustrasi Gambar 2.1 adalah logam yang kedua ujungnya diberi perbedaan temperatur $T_1 > T_2$, kalor mengalir dari T_1 ke T_2 sehingga terjadi distribusi temperatur sepanjang logam tersebut. Menurut Joseph Fourier, laju perpindahan kalor konduksi berbanding lurus dengan gradien normal, seperti persamaan berikut :

$$d_q = -k \times A \times \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.3)$$

Berdasarkan persamaan (2.3) pindah Kalor zat dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal bahan, pada alat penukar kalor dengan kondisi pemakaian normal temperatur dibawah 100°C , umumnya menggunakan material tembaga karena memiliki nilai konduktivitas $385 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Perpindahan Kalor konveksi terjadi jika molekul bertemperatur tinggi mengalir ke tempat bertemperatur rendah dan melepaskan Kalornya pada molekul yang bertemperatur lebih rendah. Konsep perpindahan Kalor konveksi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2Proses konveksi.

Berdasarkan Hukum Newton, persamaan pindah Kalor konveksi sebagai berikut :

$$q_c = h \times A \times \Delta T \dots\dots\dots (2.4)$$

Perbedaan dasar konduktivitas termal dengan koefisien konveksi yaitu pada konduktivitas termal bahan hanya bergantung pada jenis material dan temperatur sistem, sedangkan nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh jenis fluida serta kecepatan alir. Ada dua macam konveksi yaitu konveksi alami dan konveksi paksa, berikut tabel perbedaannya.

Tabel 2.1Perbedaan konveksi alami dengan konveksi paksa

No	Deskripsi	Konveksi Alami	Konveksi Paksa
1.	Definisi	Pergerakan fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur.	Pergerakan fluida yang dibantu oleh gaya luar seperti kipas
2.	Sistem Aplikasi	Angin darat, angin laut, dan lainnya	Radiator, pendingin udara, dan lainnya
3.	Persamaan	$Ra = \frac{g\beta(T_H - T_C)}{\alpha\theta} x^3$	$Re = \frac{\rho\theta x}{\mu}$ Re adalah perbandingan momen inersia dengan viskos
4.	Turbulen	$Ra > 10^8$	$Re > 2000$ (fluida air)

2.2 Klasifikasi *Heat Exchanger*

Heat exchanger adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari dua fluida atau lebih, melalui permukaan sentuh atau melalui fluida, pada temperatur yang berbeda. Pada *heat exchanger* idealnya tidak ada kalor eksternal dan sistem tidak melakukan kerja (Robert, F.W., and McDonald, A.T, 1994).

Umumnya *heat exchanger* digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan aliran fluida, proses evaporasi, dan proses kondensasi. Aplikasi lainnya adalah untuk sterilisasi objek, pasteurisasi objek, kristalisasi objek, dan mengontrol aliran fluida. Klasifikasi *heat exchanger* berdasarkan fungsinya :

- i. *Chiller* digunakan untuk mendinginkan fluida sampai pada temperature yang rendah, untuk temperatur dibawah 0°C menggunakan pendingin amoniak atau freon
- ii. *Condenser* digunakan untuk mendinginkan uap atau campuran uap, sehingga berubah fasa menjadi cairan.
- iii. *Cooler* digunakan untuk mendinginkan cairan atau gas dengan mempergunakan air atau udara sebagai media pendingin. Proses perpindahan kalor yang terjadi hanya temperatur (kalor sensibel).
- iv. *Evaporator* digunakan untuk penguapan cairan menjadi uap. Perpindahan kalor terjadi melalui proses evaporasi yaitu refrigeran menyerap Kalor untuk mengubah wujud cair menjadi uap.

2.3 Komponen *Shell And Tube*

Alat penukar kalor tipe *shell and tube* banyak diaplikasikan pada bidang industri, minyak dan gas, petrokimia, pembangkit listrik, industri makanan, dan lain sebagainya. Tipe ini memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan dibandingkan tipe lainnya antara lain :

Keunggulan

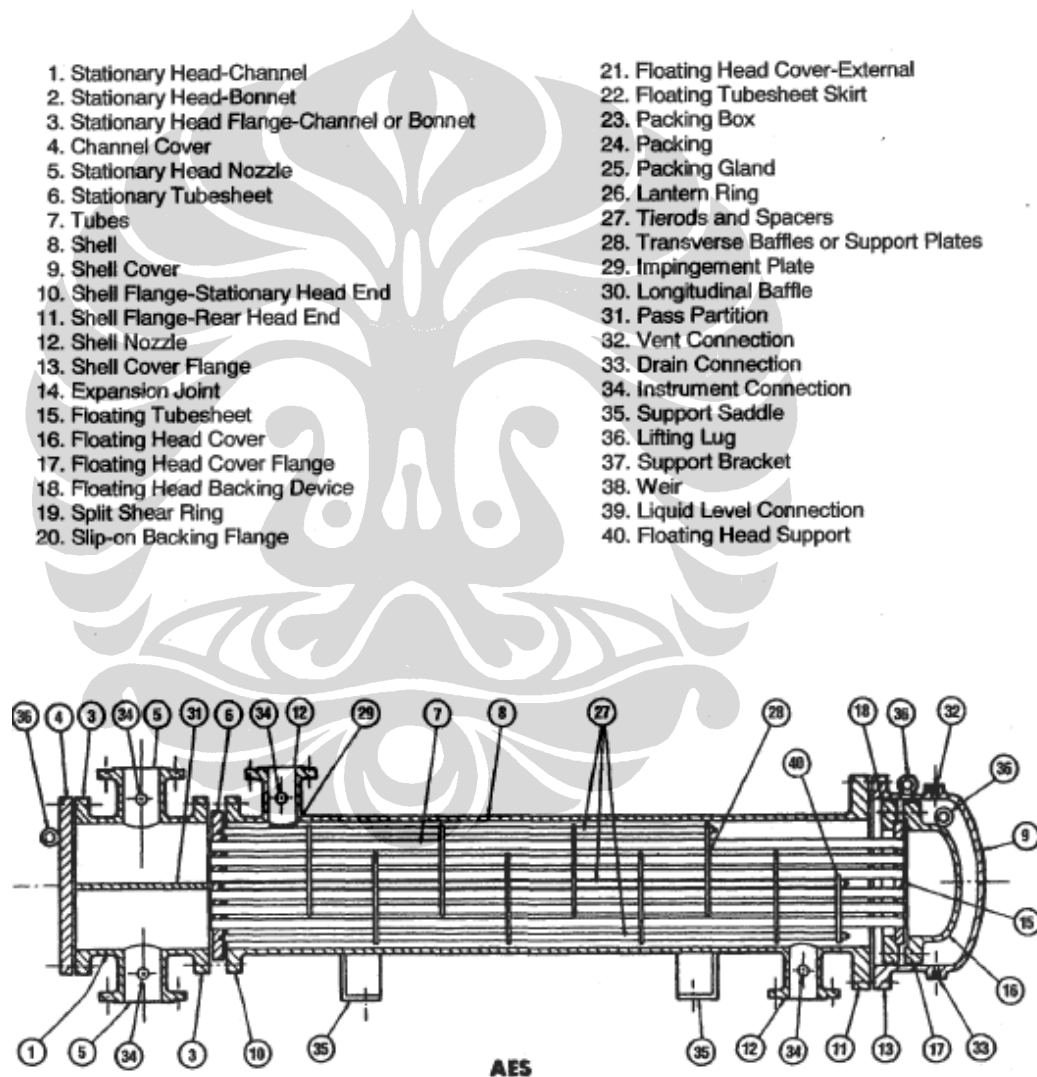
- Umum digunakan pada industri petrokimia, dimana terdapat zat yang berbahaya seperti amonia, steam, dan sebagainya yang dilindungi oleh bagian shell
- Desain kompak
- Dapat diaplikasikan untuk skala pendinginan kecil dan besar

Kelemahan

- Untuk kapasitas besar, dimensi lebih besar dibandingkan tipe *fin tube heat exchanger* dan *plate heat exchanger*.
- Dibalik *baffle* terjadi *water hammer* dan korosi
- Kehilangan tekanan di *shell* lebih tinggi dibandingkan tipe lainnya, karena aliran gangguan di belakang *baffle*.

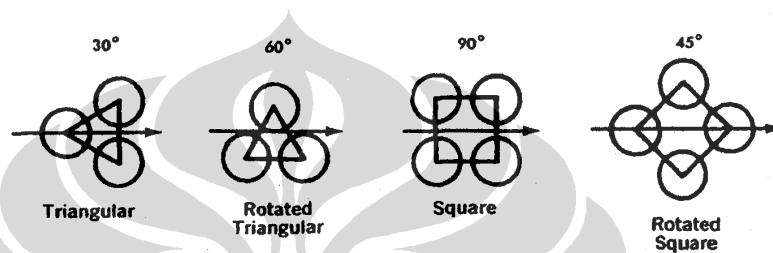
Komponen utama *shell and tube* adalah *tube bundle*, *shell*, dan *header*.

Komponen lengkap *shell and tube* (Gaddis, 2007). dapat dilihat pada Gambar 2.3.



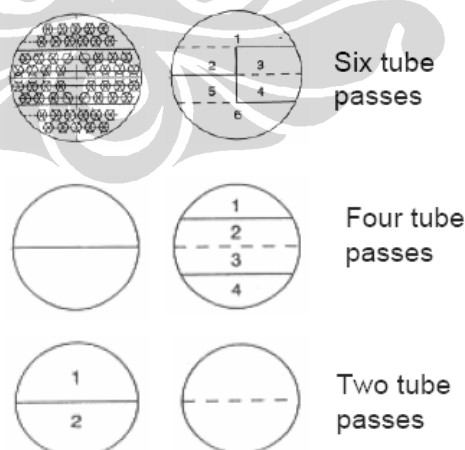
Gambar 2.3Komponen *Shell and tube* (Gaddis, 2007).

Parameter pemilihan material *tube* adalah temperatur kerja, tekanan kerja, dan korosi fluida yang mengalir, umumnya fluida yang korosif mengalir di *tube*. Dimensi *tube* diameter dan panjang *tube* disesuaikan dengan parameter desain seperti kecepatan optimum, penurunan tekanan yang diijinkan dan luas area yang dibutuhkan. Sedangkan tebal *tube* disesuaikan dengan tekanan kerja. Susunan *tube* akan mempengaruhi perpindahan kalor, sistem pemeliharaan, dan pola aliran laminar atau turbulen, susunan *tube* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



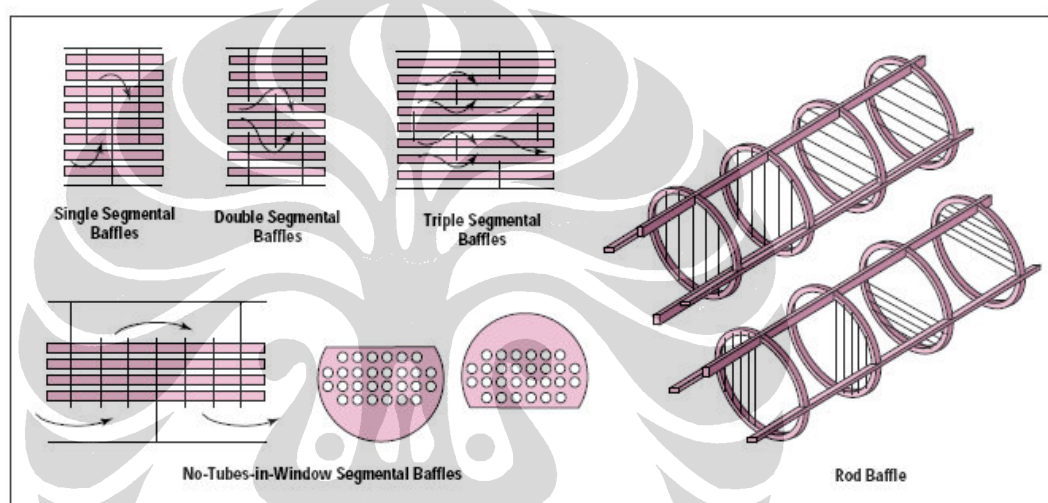
Gambar 2.4 Susunan *tube* (Gaddis, 2007).

Laluan *tube* (*tube pass*) disesuaikan dengan parameter desain, jika perbedaan temperatur fluida tinggi, maka dapat dibuat lebih dari satu laluan untuk memperpanjang lintasan. Laluan *tube* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Laluan *tube* (Gaddis, 2007).

Sekat (*baffle*) berfungsi untuk membelokkan dan membagi aliran, selain itu juga untuk menaikkan kecepatan fluida sehingga meningkatkan koefisien pindah kalor konveksi di sisi shell. Parameter pemilihan bentuk *baffle* ditentukan oleh penurunan tekanan yang diizinkan, bentuk dan distribusi aliran yang ingin dicapai, dan lainnya. Jarak minimum sekat adalah $1/5$ diameter shell atau 51 mm namun dengan desain khusus jarak minimum dapat lebih dekat (Gaddis, 2007). *Baffle cut* bervariasi antara 15-45 % (luas piringan *baffle*), namun *baffle* yang optimum adalah 25% (Gaddis, 2007). Jenis *baffle* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jenis *Baffle*

2.4 Desain *Shell And Tube*

Banyak metode desain alat penukar kalor *shell and tube* seperti metode Kern dan Delaware. Pemilihan metode desain disesuaikan dengan kebutuhan *engineer*, kemudahan proses kalkulasi, serta parameter data input yang umum yang meliputi temperatur *inlet* dan *outlet* fluida serta laju massa. Metode Delaware menghasilkan suatu desain kalkulasi yang lebih presisi namun membutuhkan parameter input kompleks yang sulit digunakan oleh orang awam. Sedangkan metode Kern lebih mudah digunakan dan menghasilkan kinerja perpindahan kalor yang baik, walaupun *pressure drop* di sisi *shell* tidak seakurat metode Delaware, selain itu parameter input yang dibutuhkan sederhana yaitu temperatur dan laju massa fluida panas dan fluida dingin.

Universitas Indonesia

Metode Kern juga mengikuti prinsip Azas Black dimana kalor yang diterima sama dengan kalor yang dilepas. Kriteria desain tercapai jika kinerja perpindahan Kalor lebih besar dibandingkan dengan kalor yang dilepas dan yang diserap oleh fluida. Biasanya alat penukar kalor didesain 20% lebih besar dibandingkan kebutuhan yang bertujuan untuk mencegah *overheat* pada sistem akibat *fouling* dan kinerja sistem yang berlebih. Persamaan umum metode Kern sebagai berikut :

$$D_s = 0,637 \sqrt{\frac{C \times L \times A_o \times (PR)^2 \times D_o}{CTP \times L}} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$A_s = \frac{D_s}{P_t} CB \dots\dots\dots (2.6)$$

$$D_e = \frac{4 \left(P_t^2 - \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\pi D_o} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Re_t = \frac{\rho_t v_t D_i}{\mu_t} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$f_t = (1,58 \ln Re_t - 3,28)^{-2} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$h_t = \frac{Nu_t k_t}{D_i} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Re_s = \left(\frac{m_s}{A_s} \right) \left(\frac{D_e}{\mu_s} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

$$h_s = \frac{0,36 k_s}{D_e} Re_s^{0.55} Pr_s^{1/3} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_s} \frac{D_o}{D_i} + \frac{r_o \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{k} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left\{ \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})} \right\}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Q = UA_o \Delta T_{LMTD} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times D_s \times (N_b + 1)}{2 \times \rho \times D_e \times \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0,14}} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

2.5 Computational Fluid Dynamic

Cabang ilmu yang menganalisa sistem, seperti aliran fluida, pindah kalor, dan reaksi kimia yang disimulasikan dengan *software*. Saat ini *software* CDF telah berkembang dan berbagaimacam jenis disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. CFD telah membantu para *engineer* untuk melakukan desain dengan biaya yang relatif lebih rendah dan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan eksperimental. Selain itu dapat memvisualisasikan suatu kondisi yang sulit untuk diaplikasikan dengan eksperimen. Banyak persamaan diferensial yang digunakan pada kalkulasi CFD, salah satunya persamaan yang mengatur proses fisik aliran fluida yang ditinjau adalah seperti persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan energi untuk sumbu kartesian berikut ini :

Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Momentum

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U} \mathbf{U}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} \mathbf{U}) + \left[-\frac{\partial(\overline{\rho u'^2})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{\rho u'v'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{\rho u'w'})}{\partial z} \right] + S_{M_x} \dots\dots (2.19a)$$

$$\frac{\partial(\rho V)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{V} \mathbf{U}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} \mathbf{V}) + \left[-\frac{\partial(\overline{\rho u'v'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{\rho v'^2})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{\rho v'w'})}{\partial z} \right] + S_{M_y} \dots\dots (2.19b)$$

$$\frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{W} \mathbf{U}) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} \mathbf{W}) + \left[-\frac{\partial(\overline{\rho u'w'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{\rho v'w'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{\rho w'^2})}{\partial z} \right] + S_{M_z} \dots (2.19c)$$

Energi

$$\frac{\partial(\rho \Phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \Phi \mathbf{U}) = \text{div}(\Gamma \Phi \text{grad} \Phi) + \left[-\frac{\partial(\overline{\rho u' \Phi'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{\rho v' \Phi'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{\rho w' \Phi'})}{\partial z} \right] + S_{\Phi} \dots\dots\dots (2.20)$$

Software CFD diaplikasikan dengan menggunakan komputer digital, dimana hanya dapat diprogram untuk menyimpan angka, menghitung aljabar sederhana seperti penjumlahan, pengurangan, pembagian, dan perkalian. Oleh karena itu persamaan diferensial parsial di atas harus ditransformasikan menjadi persamaan aljabar sederhana dimana proses ini disebut diskritisasi numerik (*numerical discretization*) sebab informasi kontinyu yang dikandung dalam penyelesaian eksak dari persamaan diferensial parsial digantikan dengan nilai-nilai diskrit. Dalam diskritisasi numerik daerah kalkulasi dibagi dalam sejumlah *grid* atau *mesh*. Persamaan diferensial parsial kemudian diterapkan pada masing-masing *grid* membentuk persamaan-persamaan dalam bentuk aljabar yang mana disebut persamaan-persamaan diskrit.

Prosedur simulasi pada *software* simulasi yaitu *preprocessor*, *processor*, dan *postprocessor*. *Preprocessor* merupakan titik kritis sebab tahap ini memberikan semua parameter input seperti geometri, pengaturan *grid*, kondisi batas, konstanta fisik, dan pengaturan model (pindah panas, turbulensi, multi fasa, dan lainnya) yang mempengaruhi keakuratan hasil simulasi. *Processor* adalah suatu proses komputasi numerik yang dilakukan oleh *software* CFD dimana setiap *software* CFD memiliki persamaan diskrit yang berbeda sesuai dengan kecanggihan *software*. *Post processor* adalah tahapan akhir dari proses simulasi yang ditampilkan dalam bentuk kontur, vektor, dan grafik.

SolidWork adalah *software* CFD yang mudah dioperasikan oleh pengguna dari kalangan awam sampai mahir, namun belum mampu mensimulasikan proses pembakaran dan multi fasa. CFDSof adalah *software* CFD yang dikembangkan oleh CFD research group Universitas Indonesia dibawah riset Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara dapat melakukan simulasi multi fasa, pembakaran, perpindahan kalor, dan lainnya. Pada tahun 2012 CFDSof digunakan untuk analisis dispersi termal dampak rencana Reklamasi Pantai Utara Jakarta terhadap sistem pendinginan PLTU/PLTGU Muara Karang dan Priok dan analisis korosi di PT Pupuk Iskandar Muda.

2.6 Perkembangan Dan Aplikasi CFD

Software CFD telah banyak dimanfaatkan untuk pengembangan desain dan produk pada berbagai industri :

- Penerbangan pesawat penumpang, militer, dan luar angkasa digunakan untuk menganalisa aerodinamika, *avionics cooling*, *fire suppression*, *engine performance*, *life support*, *climate control*, dan lainnya
- Automotif, baik transportasi umum, mobil pribadi, hingga mobil balap CFD digunakan untuk menganalisa fenomena aerodinamika eksternal, *drag*, *cooling*, *heating*, pompa rem, kompresor, *manifold*, ban, dan lainnya.
- Biomedis menggunakan CFD untuk menganalisis sistem organ dalam tubuh sehingga dapat membuat tiruannya bagi yang membutuhkan seperti pengembangan pompa jantung.
- Petrokimia digunakan untuk menganalisa proses pencampuran, pembakaran, pengeringan, filtrasi, multi fasa, dan lainnya yang membutuhkan ilmu kimia kompleks.
- Komponen manufaktur seperti impeler, turbin, boiler, *heat exchanger*, pipa, katup, dan bahkan sistem dengan CFD dapat dilakukan optimasi desain sehingga kinerja lebih baik dan umur pakai lebih lama.
- Makanan dan Minuman digunakan untuk analisa pasteurisasi, pengeringan, pendinginan, pemanasan, dan lainnya sehingga dihasilkan produk yang higienis dan bermutu.

2.7 Korosi

Korosi adalah proses penurunan kualitas logam akibat interaksi logam dengan lingkungannya. Laju korosi dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya dan sifat logam. Pengaruh kondisi lingkungan diantaranya kadar keasaman, beda potensial (proses oksidasi-reduksi), temperatur (pindah kalor), kecepatan, dan lainnya. Logam di alam memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda sebab bentuk struktur molekul berbeda, unsur pembentuknya beragam, proses pembuatannya berbeda, dan lainnya. Faktor internal inilah yang membedakan ketahanan logam

terhadap serangan korosi pada suatu kondisi tertentu. Bentuk korosi yang umum dikenal adalah :

- Korosi merata (*general corrosion*)

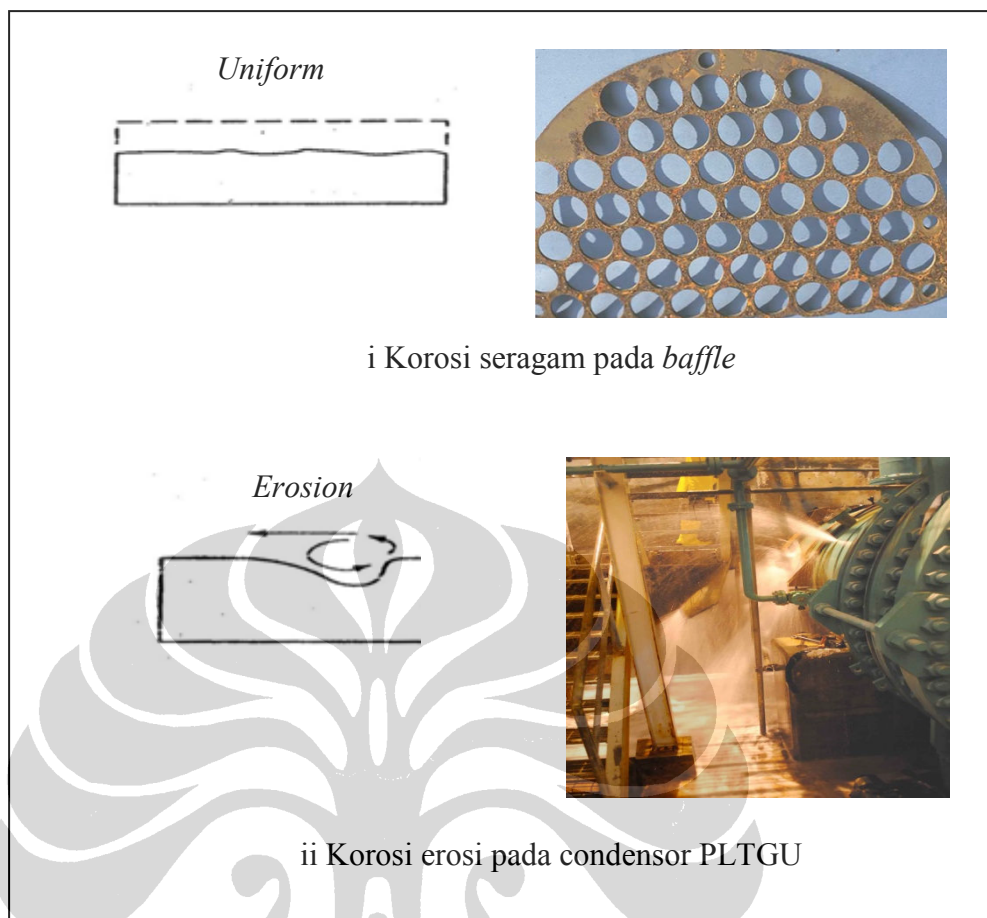
Korosi dimulai dari permukaan logam yang berinteraksi dengan penyebab korosi (udara, cairan asam, temperatur tinggi, dan lainnya) dan secara perlahan dan merata mengikis lapisan atas logam sehingga terbentuk korosi yang merata dipermukaan logam tersebut. Laju korosi ini dipengaruhi oleh kecepatan fluida, korosifitas lingkungan, temperatur dan tekanan.

- Korosi erosi (*erosion corrosion*)

Korosi erosi disebabkan oleh dua faktor yaitu kecepatan fluida dan partikel abrasif. Kecepatan fluida yang mengalir pada permukaan yang tidak merata (tonjolan las, permukaan logam tidak rata, cacat metalurgi, goresan) secara terus-menerus menyebabkan terjadinya turbulensi yang dapat merusak *oxide protection layer* sehingga terbentuk korosi. Fluida yang mengandung partikel abrasif seperti air laut yang mengandung pasir saat mengalir terjadi tumbukan pasir terhadap permukaan logam menimbulkan gesekan terus-menerus akan merusak *protective oxide film*. Korosi erosi juga sering terjadi pada knalpot akibat partikel abrasif pada gas buang. Kerusakan *protective oxide film* menghasilkan permukaan logam tidak rata sehingga semakin meningkatkan laju korosi yang dapat menimbulkan kebocoran. Kasus korosi erosi sering terjadi pada sistem pendinginan PLTU/PLTGU yang menggunakan air laut.

- Korosi lokal (*Localized corrosion*)

Korosi lokal disebabkan oleh banyak faktor diantaranya : cacat metalurgi, uap terperangkap, temperatur tinggi, stagnasi fluida, kondisi asam, gelembung udara). Serangan korosi lokal pada area tertentu dan tidak merata. Bentuk korosi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



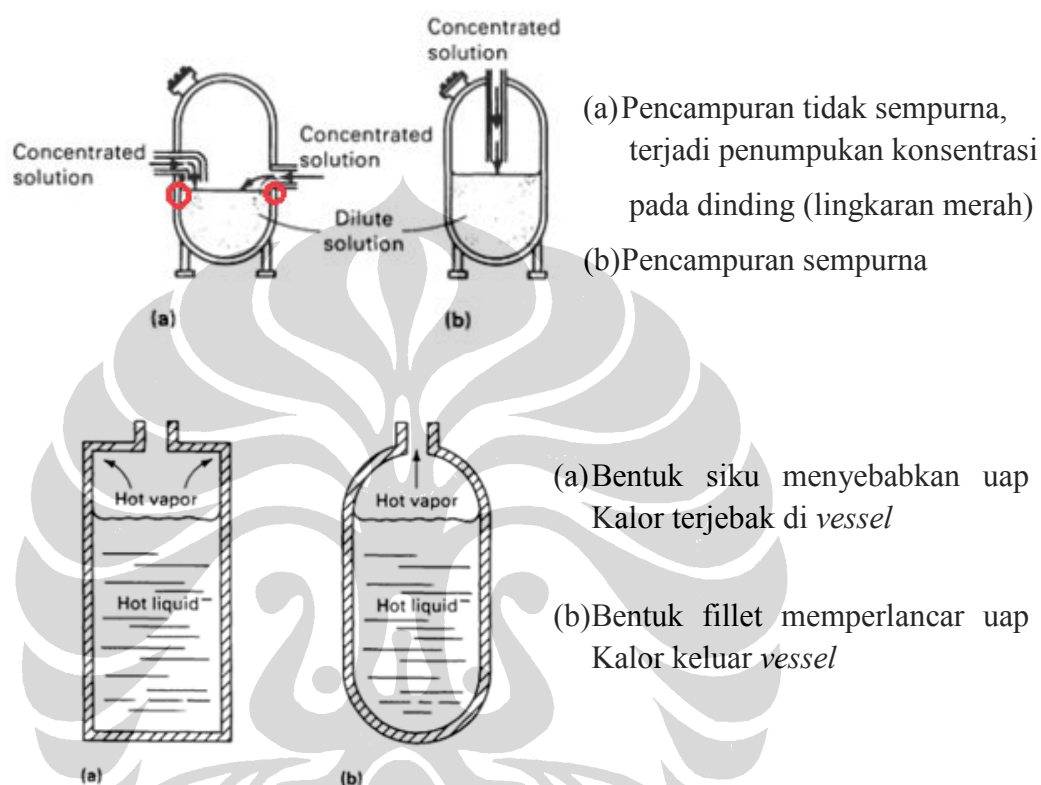
Gambar 2.7 Korosi seragam dan korosi erosi.

Laju korosi dapat ditekan dengan dua cara yaitu desain dan metode pencegahan (H.Ackerman et al., 1987). Cakupan desain meminimalkan laju korosi yaitu :

- Pemilihan material
- Desain detail
- Teknik penyambungan

Mekanikal dan metalurgi *engineer* harus bekerjasama menentukan jenis material yang tepat pada suatu kondisi kerja tertentu sehingga *equipment* tidak mengalami korosi awal. Pada kondisi tertentu dimana material logam merupakan konstrain sehingga tidak dapat diubah, laju korosi dapat ditekan dengan desain detail, yaitu dengan mengurangi penyebab korosi pada sistem terutama dari fenomena fluida seperti uap terperangkap, stagnasi fluida, *over heat*, pencampuran

yang tidak sempurna dan lainnya. Contoh penekanan laju korosi dengan desain detail dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Desain detail mencegah korosi awal (H.Ackerman et al., 1987).

Metode pencegahan korosi awal pada suatu sistem berbeda tergantung pada faktor kritis yang menyebabkan korosi. Metode yang umum dilakukan adalah *chemical cleaning*, yaitu membersihkan *equipment* dengan bahan kimia yang dapat membersihkan kerak dan kotoran pipa. Korosi erosi pada *equipment* yang dilalui air laut dapat dilakukan dengan metode pelapisan material seperti *rubber lining*, *ceramic coating*, dan lainnya. Korosi merata yang disebabkan oleh fluida asam pada *heat exchanger* biasanya menggunakan metode *anodic protection*, metode ini mulai banyak diaplikasikan pada awal tahun 1970. Korosi

merata pada *fin* radiator atau *aero fin tube Air Cooled Heat exchanger* akibat partikel udara ataupun uap air laut (lokasi dekat laut) menggunakan metode pelapisan seperti *electroplating*. Salah satu metode pencegahan korosi awal dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Rubber lining dan ceramic coating

2.8 Aplikasi CFD Pada *Shell And Tube* Dan Analisis Korosi

CFD adalah alat bantu *engineering* sehingga memiliki tahapan kritis yaitu tahapan *preprocessor*. Kondisi batas akan mempengaruhi keakuratan hasil simulasi. Secara umum fundamental persamaan atur CFD adalah mekanika fluida, sehingga diperlukan konsep pemahaman fluida bagi pengguna serta ilmu pendukung lainnya sesuai dengan model simulasi seperti pindah kalor, pembakaran, kimia kompleks, pengeringan, dan lainnya.

Prosedural baku CFD tahapan awal untuk semua model simulasi adalah pengaturan *mesh* sehingga didapatkan kerapatan *mesh* yang optimal untuk geometri dan model yang akan disimulasikan. Aplikasi CFD pada *heat exchanger* diperlukan ilmu perpindahan kalor dan mekanika fluida yang cukup dengan demikian kondisi batas yang diberikan tepat sehingga hasil simulasi akurat. Keterbatasan komputer personal juga merupakan suatu tantangan sehingga diperlukan asumsi dan penyederhanaan sistem yang mendekati kondisi nyata.

Komponen utama *heat exchanger* adalah *shell*, *tube bundle*, dan *header*. Pada *heat exchanger* yang memiliki *heavy duty* tinggi membutuhkan luas permukaan sentuh besar sehingga membutuhkan jumlah *tube* yang sangat banyak bahkan mencapai ribuan sehingga memiliki dimensi besar. Perbedaan dimensi diameter *tube* dengan *shell* yang cukup jauh membutuhkan jumlah mesh banyak, jika geometri tidak disederhanakan maka membutuhkan waktu iterasi yang lama dan hanya bisa dilakukan pada personal komputer khusus bahkan model bisa divergen.

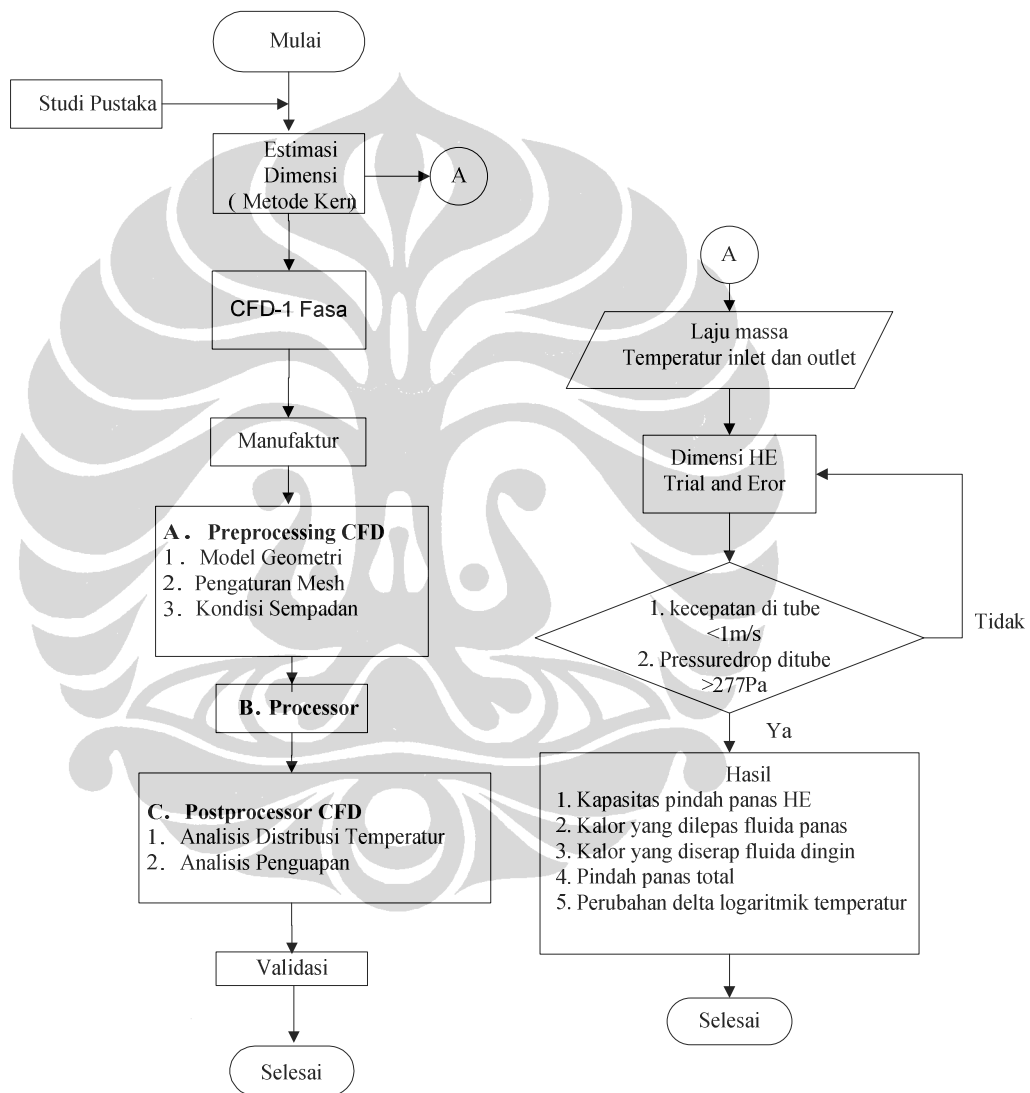
Perkembangan desain *shell and tube* dengan CFD pada tahun 1974 penyederhanaan *Tube bundle* menjadi *porous media* untuk menganalisa aliran di sisi *shell* (Ozden E. dan Tari I, 2010). Pada tahun 1978 dilakukan pengembangan simulasi tiga dimensi proses pindah Kalor di *Tube bundle* (Butterworth D. A, 1974). Pada tahun 1980-1982 model *porous media* terus berkembang pesat, konsep permeabilitas permukaan (porositas) (Prithiviraj M. dan Andrew M.J, 1998). Metode CFD HEATX berdasarkan konsep distribusi hambatan, *volumetric* porositas dan permeabilitas permukaan menunjukkan hasil validasi yang akurat (Ozden E. dan Tari I, 2010). Pada tahun 2005 menunjukkan bahwa penyederhanaan dengan *porous media* dapat mempercepat proses simulasi, namun perlu keakuratan dalam menentukan porositas karena konfigurasi sisi *shell* yang cukup kompleks (Andrew M.J. dan Master B.I,2005).

Korosi adalah proses penurunan kualitas logam akibat faktor eksternal (lingkungan) dan internal (struktur logam). Korosi tidak dapat dihindari namun dapat ditekan lajunya sehingga umur pakai *equipment* lebih panjang. Penanggulangan korosi dapat dilakukan dari desain dan material. Analisis kerusakan *tube* pada *reboiler* yang digunakan oleh pabrik pupuk dengan metode investigasi produk dengan teknik *X-ray photoelectron spectroscopy* (XPS) dan *X-ray diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa korosi disebabkan *galvanized corrosion* akibat perbedaan material (Shaik H, Suba Rao R.V, George, dan Khatak H.S, 2003). Analisis kerusakan *tube boiler* dengan metode CFD menunjukkan bahwa kerusakan disebabkan temperatur tinggi (Rahimi M, Khoshhal A, dan Shariati S.M, 2006)

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Desain *Reboiler* Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2

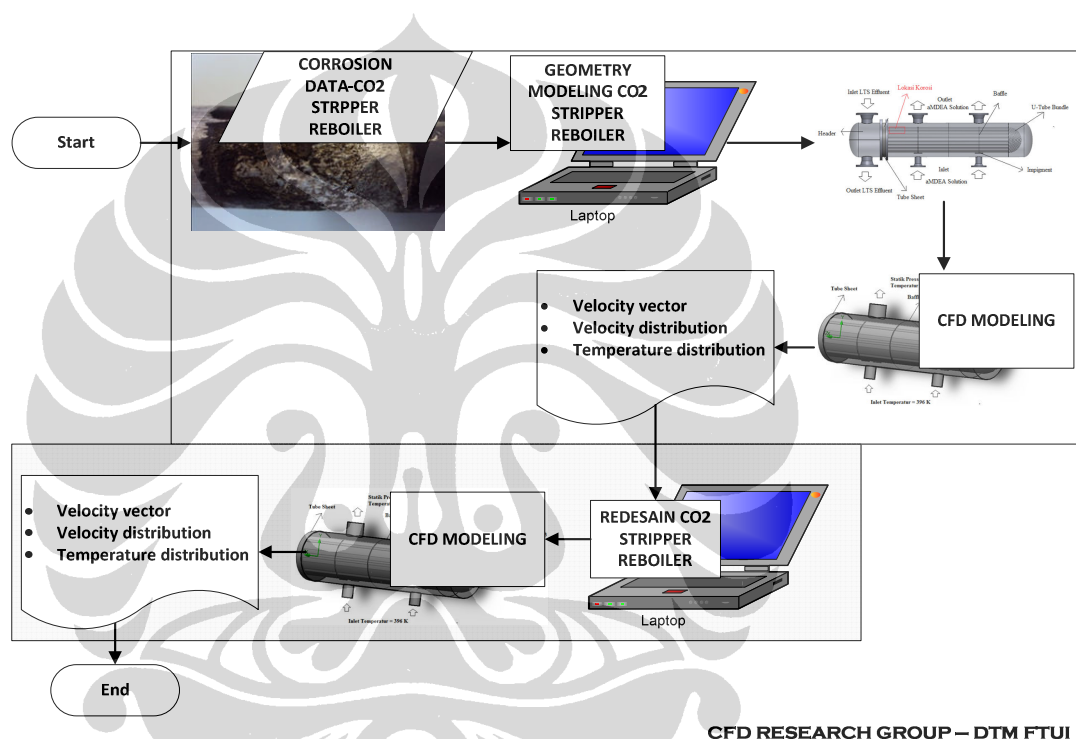
Prosedur desain sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir desain *reboiler* turbin

Desain *reboiler* dimulai dari penentuan dimensi dengan menggunakan metode Kern, sehingga didapatkan jumlah *tube*, panjang *tube*, diameter *tube*, diameter *shell*, dan jumlah *baffle*. Setelah itu dilakukan simulasi untuk mengetahui fenomena perpindahan kalor pada sistem. Pada desain awal fluida yang diuapkan adalah etanol, namun pada eksperimen etanol digantikan oleh air. Tahapan akhir adalah melakukan validasi fenomena fluida eksperimen.

3.2 Prosedur Redesain CO_2 Stripper Reboiler



Gambar 3.2 Diagram alir redesain CO_2 Stripper Reboiler

Berbeda dengan desain, tahapan awal redesain adalah analisis model terpasang dan kondisi batas sesuai dengan kinerja terpasang yang didapatkan dari *log sheet*. Selanjutnya analisis fenomena fluida pada sistem sehingga didapatkan fenomena pendidihan dominan terjadi pada daerah korosi. Tahapan akhir adalah melakukan redesain dengan tiga perubahan model yang bertujuan untuk mengurangi fraksi uap yaitu dengan model redesain sebagai berikut :

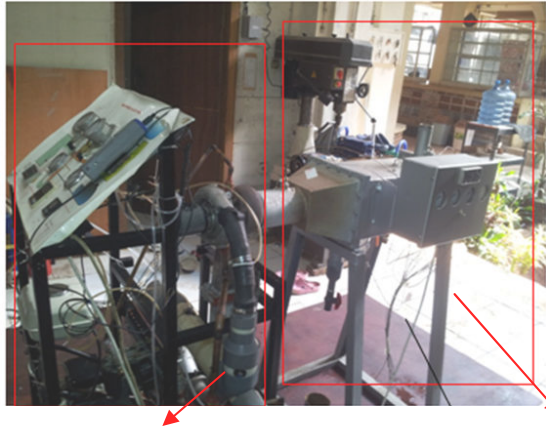
- Redesain 1, memindahkan posisi *outlet* dari 1750 mm menjadi 1200 mm dari *tubesheet*
- Redesain 2, memindahkan posisi *outlet* dari 1750 mm menjadi 880 mm dari *tubesheet*
- Redesain 3, menambahkan posisi *outlet* dari 2 menjadi 3

3.3 Pengukuran Desain *Reboiler* Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2

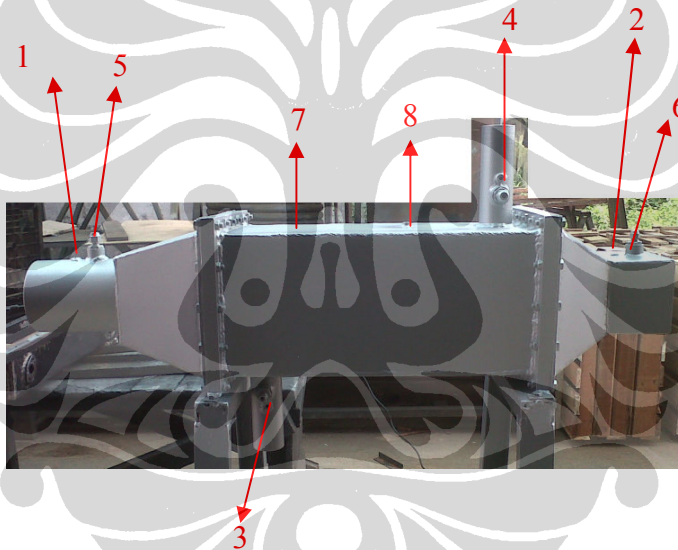
Titik ukur pengukuran yaitu :

1. *Inlet* gas buang turbin gas mikro bioenergi proto x-2
2. *Outlet* gas buang turbin gas mikro bioenergi proto x-2
3. Temperatur *inlet* air
4. Temperatur *outlet* air
5. Tekanan *inlet* gas buang turbin gas mikro bioenergi proto x-2
6. Tekanan *outlet* gas buang turbin gas mikro bioenergi proto x-2
7. Temperatur air pada jarak 85 mm dari *tubesheet*
8. Temperatur air pada jarak 265 mm dari *tubesheet*

Skema pengukuran pada Gambar 3.3.

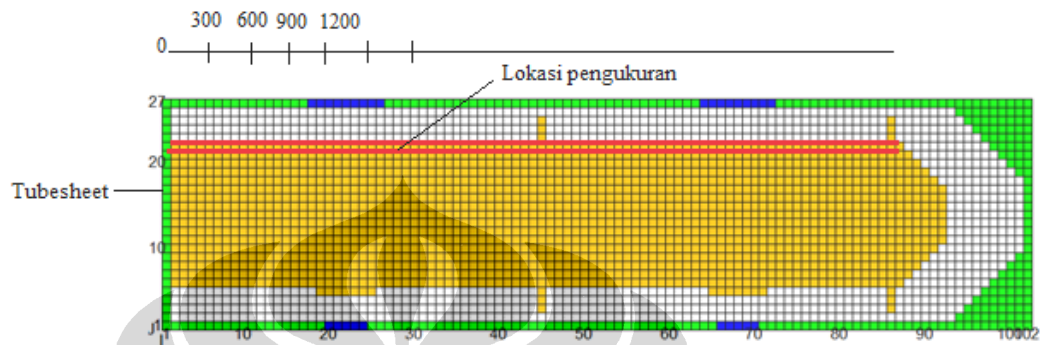


Turbin proto x-2

Reboiler turbin proto x-2**Gambar 3.3**Skema pengukuran *reboiler* turbin gas mikro bioenergi proto x-2

3.4 Pengukuran Redesain CO₂ Stripper Reboiler

Pengukuran pada redesain bertujuan untuk mengetahui fraksi uap yang terbentuk pada lokasi kritis yaitu permukaan *tube* dekat paling atas, dengan lokasi pengukuran sebagai berikut :



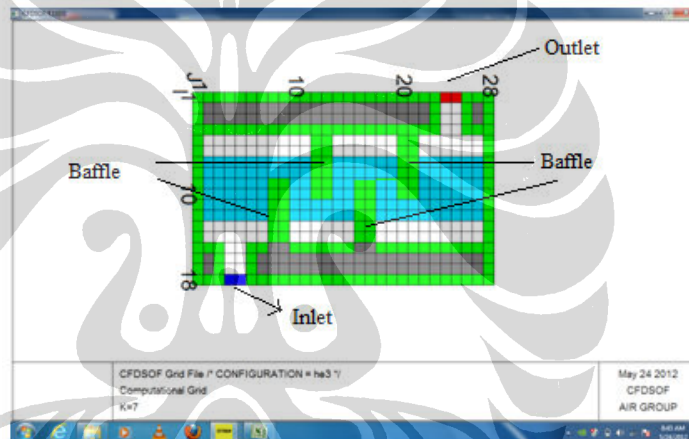
Gambar 3.4 Skema pengukuran reboiler CO₂ stripper reboiler

BAB 4

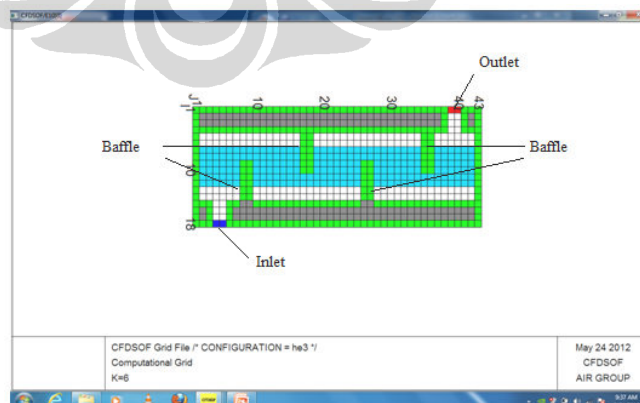
MODEL SIMULASI

4.1 Validasi *Mesh*

Prosedur umum simulasi dengan *software* CFD adalah *preprocessor*, *processor*, dan *postprocessor*. Titik kritis pada simulasi adalah *preprocessor* yaitu tahapan input data, model geometri, dan pengaturan kerapatan *mesh* yang disesuaikan dengan kondisi terpasang. Pada simulasi desain dan redesain dilakukan validasi *mesh* sehingga hasil simulasi tidak terpengaruh lagi dengan penambahan kerapatan *mesh*.



Gambar 4.1 Default *mesh* desain *reboiler* turbin



Gambar 4.2 Optimum *mesh* pada desain *reboiler* turbin

Pada *default mesh* atau *mesh* yang standar, kerapatan jarak antara *baffle* sangat renggang yang diidentifikasi oleh jumlah *cell* yang sedikit. Pada *default mesh* memberikan kerapatan yang berbeda untuk volum yang relatif sama pada celah antara *baffle*. Setelah dilakukan optimasi kerapatan *mesh* maka dihasilkan jumlah *cell* yang sama untuk volum yang sama besar.

4.2 Simulasi *Reboiler* Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2

Simulasi *reboiler* yang berfungsi untuk mengamati proses perubahan fluida dalam sistem mulai dari kenaikan temperatur sampai penguapan. Tahapan awal simulasi dengan menggunakan etanol sebagai fluida dingin dan gas buang sebagai fluida panas, namun pada eksperimen menggunakan air sebagai fluida dingin dan gas buang sebagai fluida panas sehingga konstanta fiskal simulasi diubah dari etanol menjadi air.

4.2.1 Simulasi *Reboiler* Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2

Parameter desain yaitu temperatur *inlet* dan *outlet* air dan gas buang serta laju massa fluida dingin dan gas buang. Parameter desain sebagai berikut :

- Temperatur gas buang *inlet reboiler* = 350 °C
- Temperatur *inlet* air = 30°C
- Temperatur *outlet* air = 100°C
- Laju massa gas buang = 0,17 kg/s
- Laju massa air = 0,01 kg/s

Berdasarkan metode Kern maka desain *reboiler* sebagai berikut:

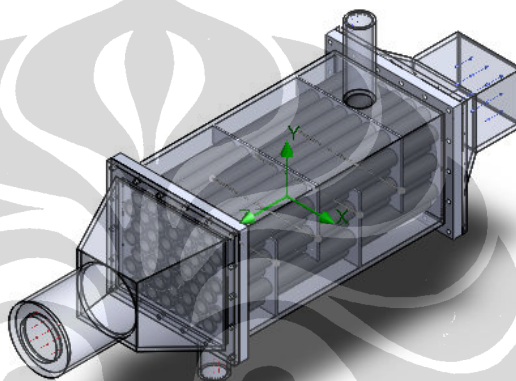
- Jumlah *tube* = 45 pcs
- Diameter *tube* = 25,4 mm
- Panjang *tube* = 500 mm
- *Tube pitch* = 3mm
- *Shell* = 230x230 mm
- Jumlah laluan *tube* = 1 laluan
- Jumlah laluan *baffle* = 1 laluan

4.2.2 Prosedur Simulasi *Reboiler*

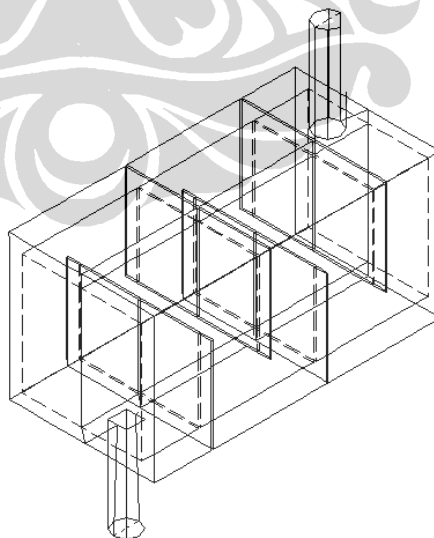
Simulasi awal dilakukan dengan SolidWork 2010 tanpa perubahan fasa selanjutnya dengan menggunakan CFDSof dimulai dari simulasi satu fasa (kenaikan temperatur) dilanjutkan dengan simulasi dua fasa (kenaikan temperatur dan perubahan fasa). Prosedur simulasi sebagai berikut :

i. Model geometri

Pada tahap ini adalah menggambar model geometri sesuai dengan desain



Gambar 4.3 Model desain *reboiler* turbin dengan SolidWork 2010.

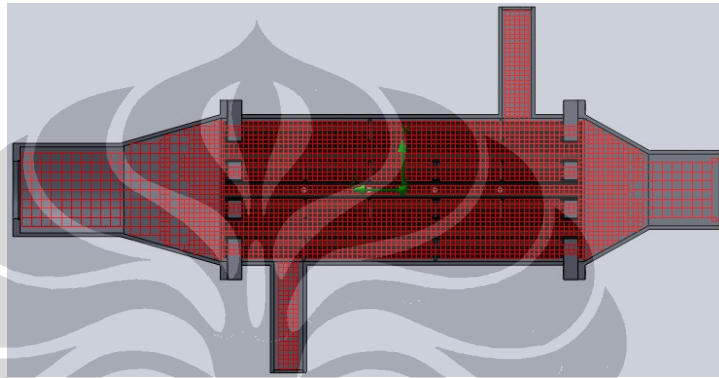


Gambar 4.4 Model desain *reboiler* turbin dengan CFDSof.

- ii. Penyederhanaan model
Pada CFD Sof U *tube bundle* disederhanakan menjadi *porous media*
- iii. Pemilihan *meshing* yang optimal
Kerapatan dan keseragaman *mesh* mempengaruhi hasil simulasi dan waktu komputasi.

SolidWork

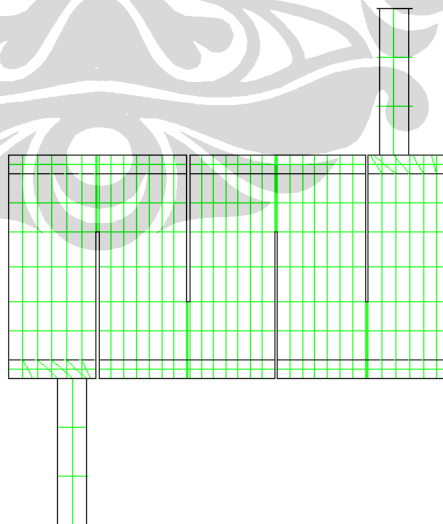
Result resolution 4



Gambar 4.5 Meshing reboiler turbin dengan SolidWork 2010.

CFDSof

Mesh 18x43x12



Gambar 4.6 Meshing reboiler turbin dengan CFDSof

iv. Kondisi sempadan

Input kondisi sempadan merupakan titik kritis dari simulasi, karena itu diperlukan ketelitian dan kejelian. Pada riset ini kondisi sempadan yang diberikan sebagai berikut :

SolidWork

- Laju massa air = 0,01 kg/s
- Laju massa gas buang = 0,17 kg/s
- Temperatur *inlet* air = 30°C
- Temperatur *inlet* gas buang = 350 °C

CFDSof

- Laju massa air = 0,01 kg/s
- Temperatur *inlet* air = 30°C
- Temperatur *inlet* gas buang = 350 °C
- *Porosity* = 0,25

v. Konstanta Fiskal

Air

- Massa jenis = 965 kg/m³
- Panas jenis = 4228,7 J/kg K
- Konduktivitas termal = 0,44 W/m K
- Viskositas = 0,00058Pas

Uap air

- Massa jenis = 1,29 kg/m³
- Panas jenis = 1004 J/kg K
- Konduktivitas termal = 0,0241 W/m K
- Viskositas = 0,0000175 Pas

vi. Atur Model

SolidWork

- *Heat Conductivity*
- *Gravity*

CFDSof

- Pindah Panas

- Radiator
- Gravitasi
- Turbulensi (k-epsilon)
- Multi fasa
- Terikat waktu

4.3 Simulasi *Reboiler* Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2

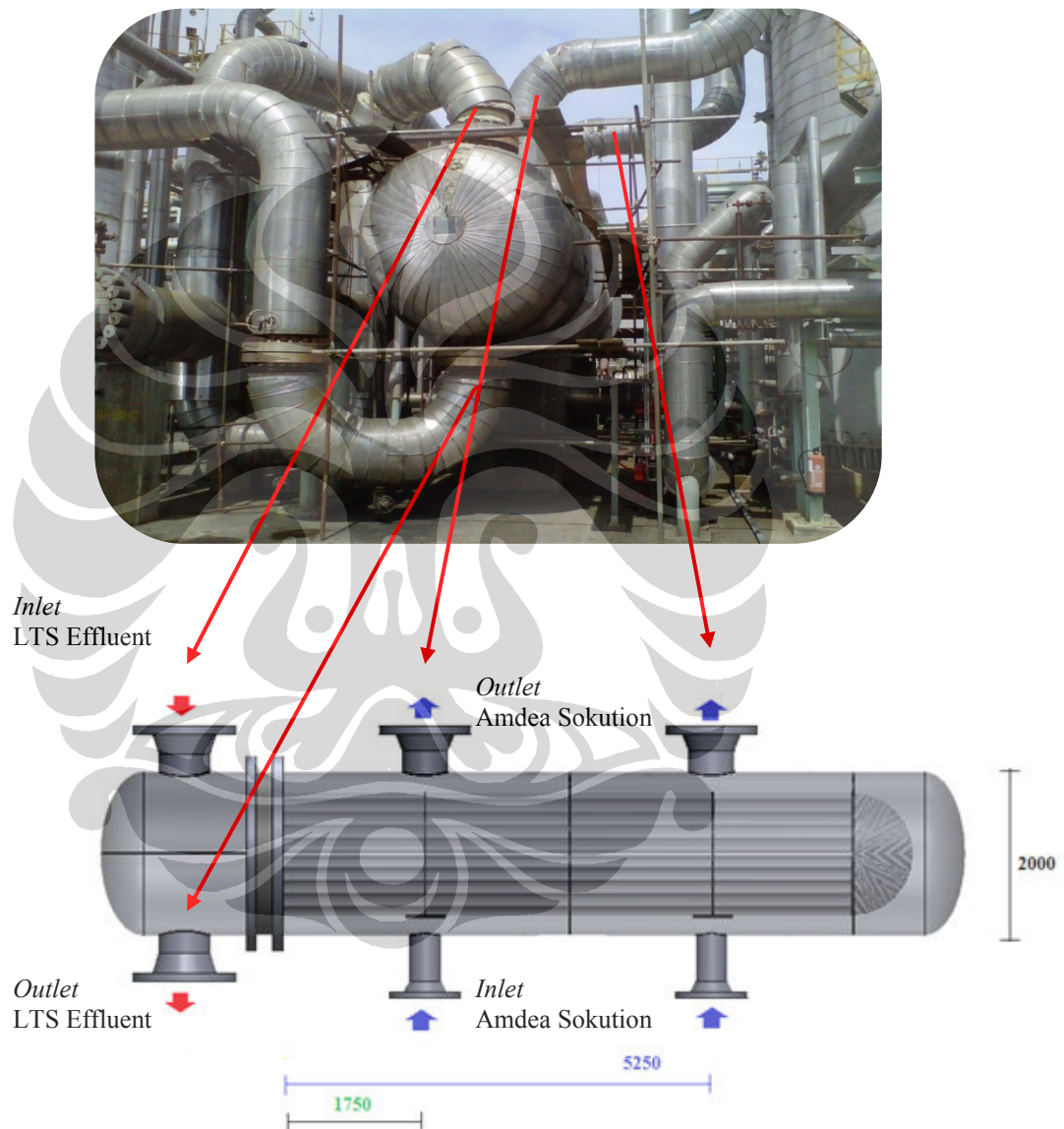
Prinsip perbedaan desain dan redesain pada simulasi secara garis besar adalah data input desain berdasarkan parameter desain sedangkan data input redesain adalah kondisi terpasang. Validasi desain adalah dengan eksperimen sedangkan validasi redesain dengan kondisi terpasang yang kemudian dilakukan perubahan detail desain sehingga didapatkan hasil redesain yang lebih baik dari kondisi terpasang.

4.3.1 Simulasi *Reboiler* Turbin Mikro Gas Bioenergi Proto X-2

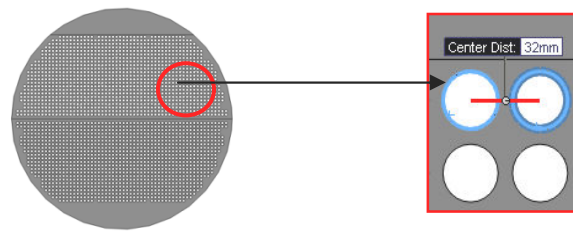
CO₂ stripper reboiler adalah salah satu komponen yang digunakan untuk proses pengolahan pupuk yang digunakan oleh PT Pupuk Iskandar Muda, Aceh, Indonesia. *CO₂ stripper reboiler* adalah semacam alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang berfungsi untuk menurunkan temperatur campuran gas (LTS Effluent) dari 210 °C sampai 132°C dengan fluida pendingin campuran air dengan zat kimia (Amdea Solution). LTS effluent mengalir dua *pass*, sepanjang *U tube bundle* masuk dari *header* atas dan keluar dari *header* bawah sambil melepas panas. Sedangkan Amdea Solution mengalir satu *pass*, di dalam *shell* yang masuk dari bawah dan keluar di atas. Jumlah *inlet* LTS effluent satu dan Amdea Solution dua sedangkan jumlah *outlet* LTS effluent satu dan Amdea Solution dua. Jumlah *U tube* 1234 buah dengan panjang 7000 mm, berdiameter 25,4 mm dan tebal 1.65 mm. Material *tube*, *shell*, *baffle*, dan *impigment* adalah stainless steel 304 disesuaikan dengan kondisi kerja dan lingkungan. Alat penukar kalor ini didesain sedemikian rupa untuk memperkecil pressure drop di sisi *shell* dibuktikan dengan pemilihan tipe pitch *tube* persegi dengan sudut 90°, *tube pitch* 32mm dan diameter *outlet shell* (26 in) lebih besar dibandingkan *inlet shell* (16 in). *Impigment* yang terletak di sisi *inlet* berfungsi untuk membagi aliran dan pelindung *tube*. Terdapat 4 *baffle* tipe donat yang berfungsi untuk mengarahkan aliran. Kalor yang

Universitas Indonesia

dilepaskan LTS effluent diserap Amdea Solution sehingga terjadi proses pendidihan dan penguapan (5% dari laju massa total). Perpindahan panas kedua fluida ini sebesar 28551.67 kW. Kondisi *existing* dan *built up drawing* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Skema CO₂ stripper reboiler



Gambar 4.8 *Pitch tube*

Berdasarkan data sejarah alat *CO₂ stripper reboiler* mengalami kebocoran. Berdasarkan metode *Leak test* dari sisi *shell* dengan tekanan 5 kg/cm ditemukan *tube* bocor sebanyak 177 *tube*. Lokasi kebocoran *tube* ditentukan dengan metode individual test terhadap *tube* yang bocor yaitu pada bagian atas *tube* yang berjarak 230-280 mm dari *tubesheet*. Kebocoran disebabkan oleh korosi lokal yang menyerang permukaan atas *tube* dapat dilihat pada Gambar 4.9.



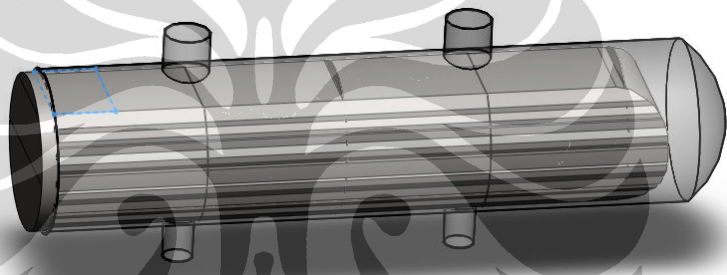
Gambar 4.9 *Korosi tube CO₂ stripper reboiler*

4.3.2 Prosedur Simulasi CO₂ Stripper Reboiler

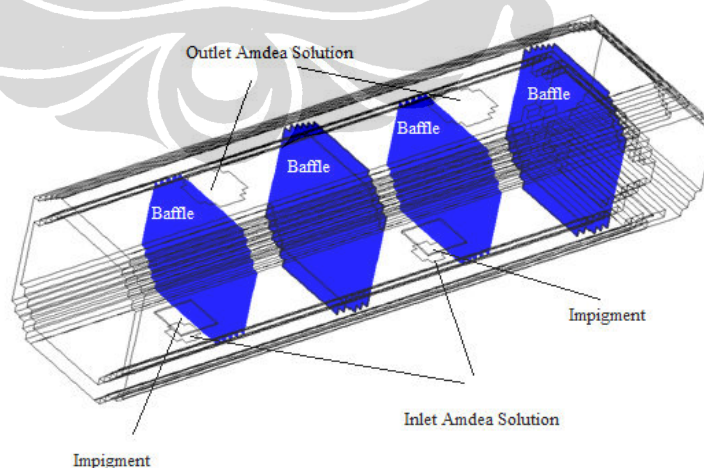
Riset ini diawali oleh simulasi dengan software CFD SolidWork dilanjutkan dengan CFDSof untuk multifasa. Secara umum tahapan simulasi software CFD adalah *preprocessor*, *processor*, dan *postprocessor*. SolidWork adalah salah satu software CFD yang mudah digunakan oleh umum namun belum dapat digunakan untuk proses penguapan (multifasa). Prosedur simulasi *software* SolidWork dan CFDSof secara prosedural dan input sama, namun perbedaan di penyederhanaan model geometri :

i. Model geometri

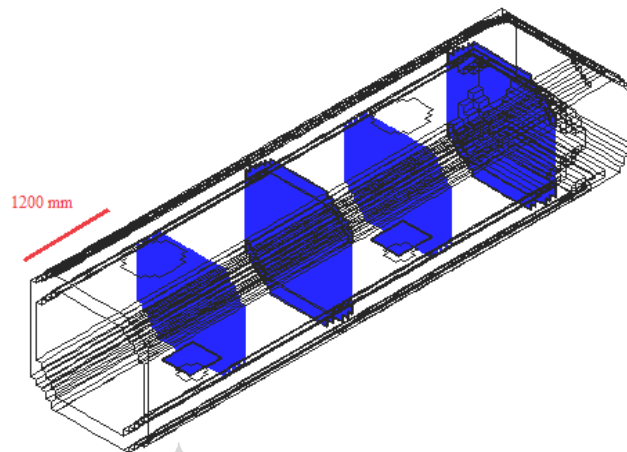
Pada tahap ini adalah menggambar model geometri sesuai dengan dimensi *existing*



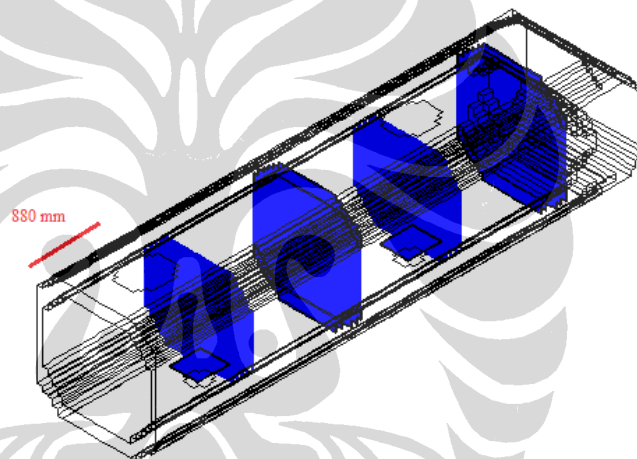
Gambar 4.10 Model simulasi CO₂ stripper reboiler dengan SolidWork 2010.



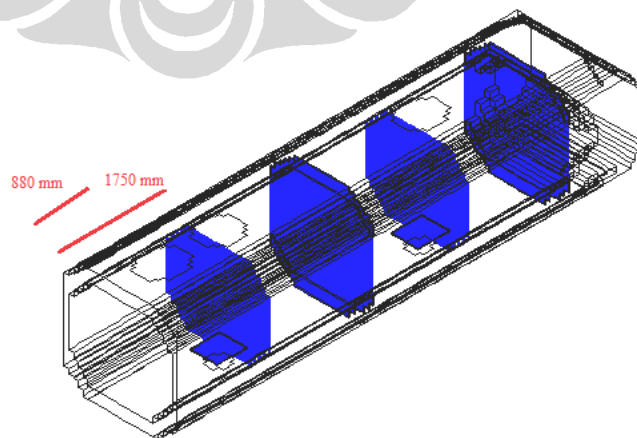
Gambar 4.11 Model simulasi CO₂ stripper reboiler dengan CFDSof



Gambar 4.12 Model simulasi redesign 1 CO₂ stripper reboiler



Gambar 4.13 Model simulasi redesign 2 CO₂ stripper reboiler



Gambar 4.14 Model simulasi redesign 3 CO₂ stripper reboiler

ii. Penyederhanaan model

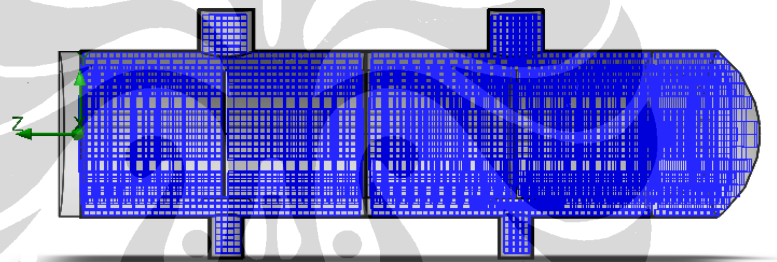
Penyederhanaan model berdasarkan artikel serta jurnal yang telah dilakukan peneliti untuk menyederhanaan *U-tube bundle* menjadi radiator. Penyederhanaan model bertujuan untuk mengatasi keterbatasan teknologi personal komputer, mempercepat proses komputasi, serta mencegah divergen.

iii. Pemilihan *meshing* yang optimal

Kerapatan dan keseragaman *mesh* mempengaruhi hasil simulasi serta kecepatan komputasi.

SolidWork

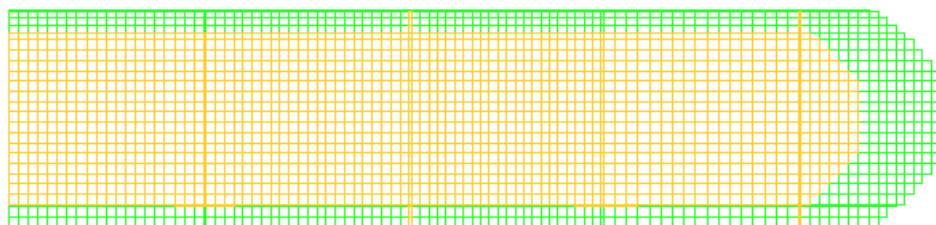
Result resolution 4



Gambar 4.15 Meshing *CO₂ Stripper Reboiler* dengan SolidWork.

CFDSof

Mesh 102x27x27



Gambar 4.16 Meshing *CO₂ Stripper Reboiler* dengan CFDSof

iv. Kondisi sempadan

Input kondisi sempadan merupakan titik kritis dari simulasi, karena itu diperlukan ketelitian dan kejelian. Pada riset ini kondisi sempadan yang diberikan sebagai berikut :

SolidWork

- Total Laju massa Amdea solution = 236,4 kg/s
- Temperatur *inlet* Amdea solution = 396 K
- *Heat rejection* = 28714 kW
- *Porosity* = 0,13
- Total *heat generation* = 9600000W/m³

CFDSof

- Kecepatan *inlet* = 1m/s
- *Heat rejection* = 28714 kW
- Temperatur *inlet* amdea solution = 396 K
- Radiator

v. Konstanta Fiskal

Amdea Solution

- Massa jenis = 965 kg/m³
- Panas jenis = 4228,7 J/kg K
- Konduktivitas termal = 0,44 W/m K
- Viskositas = 0,00058 Pas

Uap Amdea Solution

- Massa jenis = 1,12 kg/m³
- Panas jenis = 2177,15 J/kg K
- Konduktivitas termal = 0,0256 W/m K
- Viskositas = 0,000013 Pas

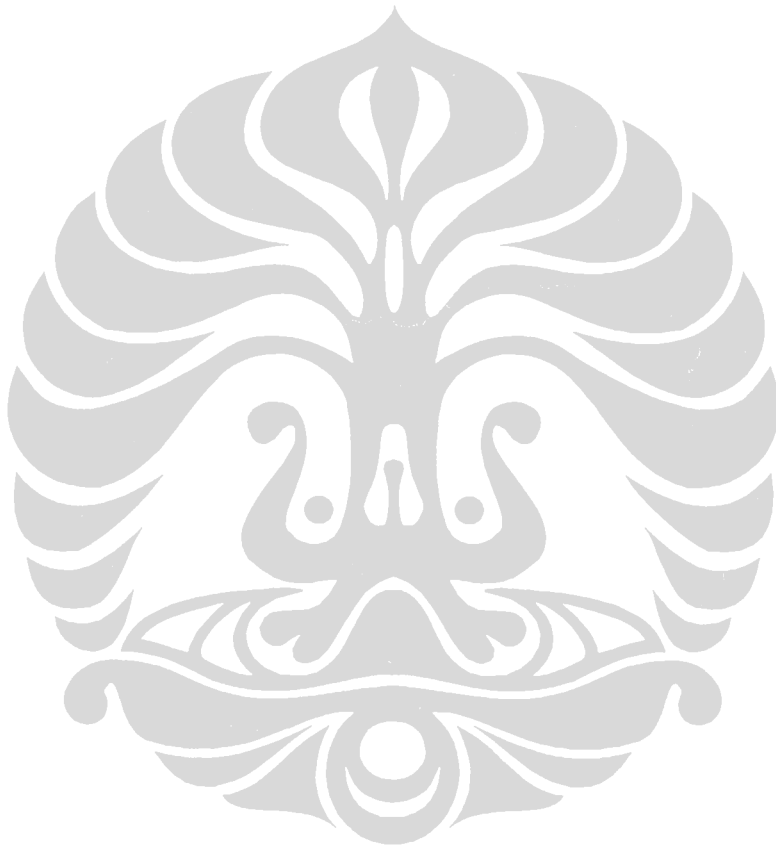
vi. Atur Model

SolidWork

- *Heat Conductivity*
- *Gravity*

CFDSof

- Pindah Panas
- Gravitasi
- Turbulensi (k-epsilon)
- Multi fasa
- Terikat waktu



BAB 5

PEMBAHASAN

Pada riset ini, setiap model simulasi telah melalui proses validasi *mesh* yaitu bervariasi kerapatan *mesh* sehingga hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh kerapatan *mesh* yang lebih tinggi. Validasi *mesh* disesuaikan dengan *software* CFD yang digunakan serta kehandalan personal komputer. Dengan demikian hasil simulasi ini akan merepresentasikan kondisi sistem seperti yang dijelaskan pada Bab 4.

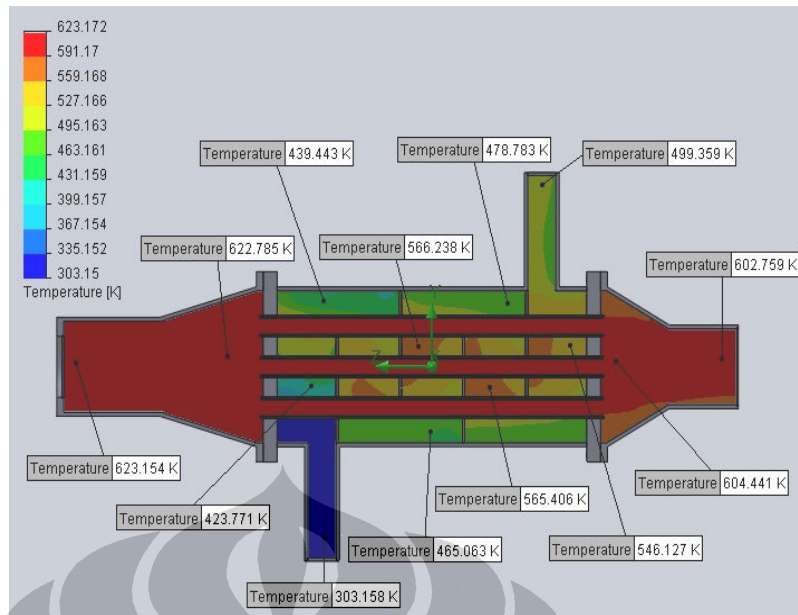
5.1 Analisis *Reboiler* Turbin Mikro Bioenergi Proto X-2

5.1.1 Simulasi Desain *Reboiler* Turbin Mikro

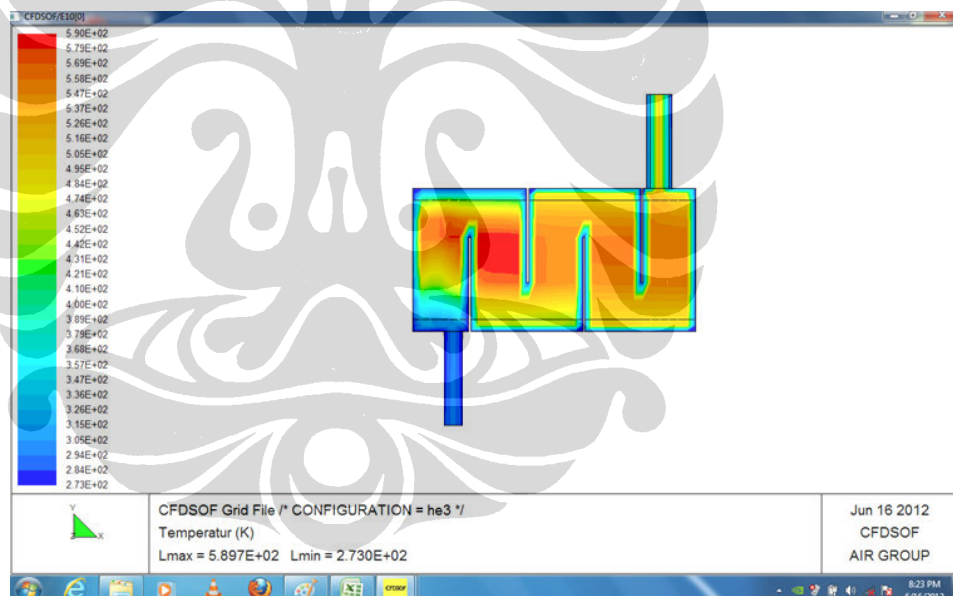
Desain *reboiler* turbin mikro bioenergi proto x-2 bertujuan untuk menguapkan etanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar turbin tersebut. Penguapan memanfaatkan gas buang dari turbin. Konstrain desain adalah pressure drop gas buang dibawah 277 Pa, sehingga gas buang dapat mengalir secara konveksi alami. Berdasarkan kriteria desain *heat exchanger* tipe *shell and tube*, gas buang bertemperatur tinggi dialirkan melalui *tube* dan etanol dialirkan melalui *shell*. Eksperimen pada riset ini mengganti etanol dengan air. Tahapan awal simulasi adalah dengan menggunakan *software* SolidWork 2010 dan CFDSoft dengan mengamati distribusi temperatur dengan konstarin temperatur *outlet* air dari 100°C. Kemampuan pindah kalor *reboiler* ini disesuaikan dengan kalor yang dilepaskan oleh gas buang dengan kriteria desain sebagai berikut :

- Laju massa gas buang = 0,17 kg/s
- Temperatur *inlet* gas buang = 350 °C
- Temperatur *outlet* gas buang = 250°C
- Kalor jenis gas buang = 1,089 kJ/kg
- Temperatur *inlet* air = 30°C
- Temperatur *outlet* air = 100°C

Hasil simulasi tahap awal sebelum manufaktur *reboiler* turbin sebagai berikut :



Gambar 5.1 Distribusi temperatur air pada *reboiler* turbin dengan SolidWork (Hadid, 2012)



Gambar 5.2 Distribusi temperatur air pada *reboiler* turbin dengan CFDSof satu fasa

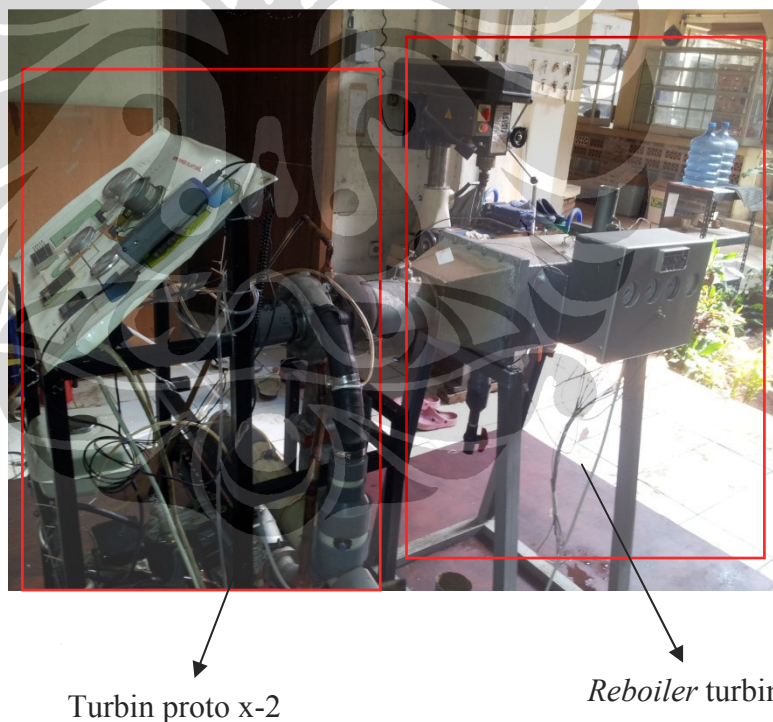
Berdasarkan hasil simulasi kedua *software* CFD di atas menunjukkan tren yang hampir sama yaitu air yang mengalir sepanjang *shell* temperatur terus meningkat akibat menyerap kalor dari gas buang. Perbedaan simulasi SolidWork dengan CFDSof yaitu pada CFDSof mengganti *tube bundle* dengan radiator yang bertujuan untuk memanfaatkan fasilitas *software* serta mempersingkat waktu

Universitas Indonesia

iterasi. Berdasarkan SolidWork didapatkan temperatur air *outlet* 226°C dan Simulasi CFD temperatur air *outlet* sebesar 222°C atau hanya selisih 2%. Dengan demikian desain *reboiler* turbin layak dimanufaktur karena temperatur *outlet* air lebih besar daripada 100°C. Temperatur *outlet* yang jauh lebih besar daripada 100°C bertujuan untuk menghindari laju massa gas buang yang lebih rendah dibandingkan desain.

5.1.2 Validasi Dinamika Fluida Hasil Simulasi

Setelah proses manufaktur desain *reboiler* turbin, dilakukan simulasi lanjutan dengan *software* CFDSof dua fasa yang dapat memvisualisasikan peningkatan temperatur dan pembentukan uap air. Pada saat eksperimen laju massa gas buang turbin lebih rendah daripada desain yaitu sebesar 0,06 kg/s (desain 0,17 kg/s), setting alat dan proses eksperimen dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5.3 Setting *reboiler* turbin proto x-2

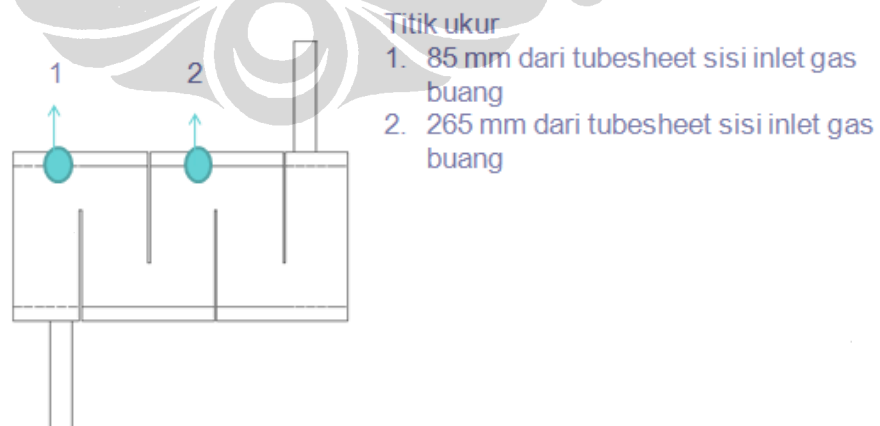


Gambar 5.4 Foto eksperimen

Data simulasi berdasarkan hasil eksperimen sebagai berikut :

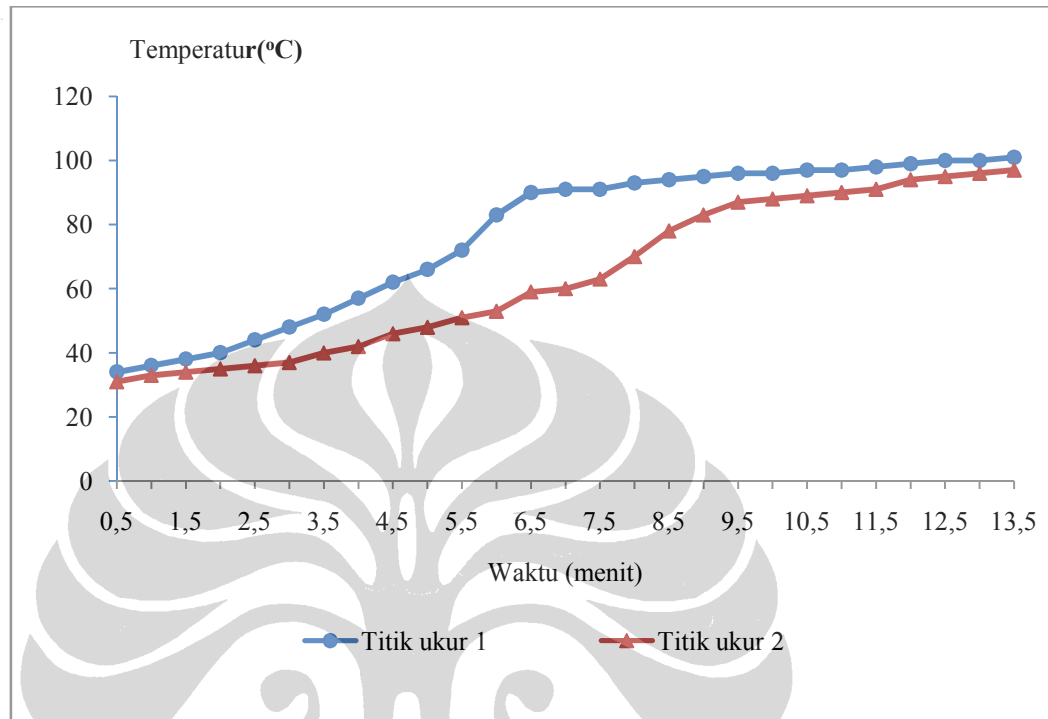
- Laju massa gas buang = 0,06 kg/s
- Temperatur *inlet* gas buang = 394 °C
- Temperatur *outlet* gas buang = 118°C
- Temperatur *inlet* air = 30°C

Titik Pengukuran



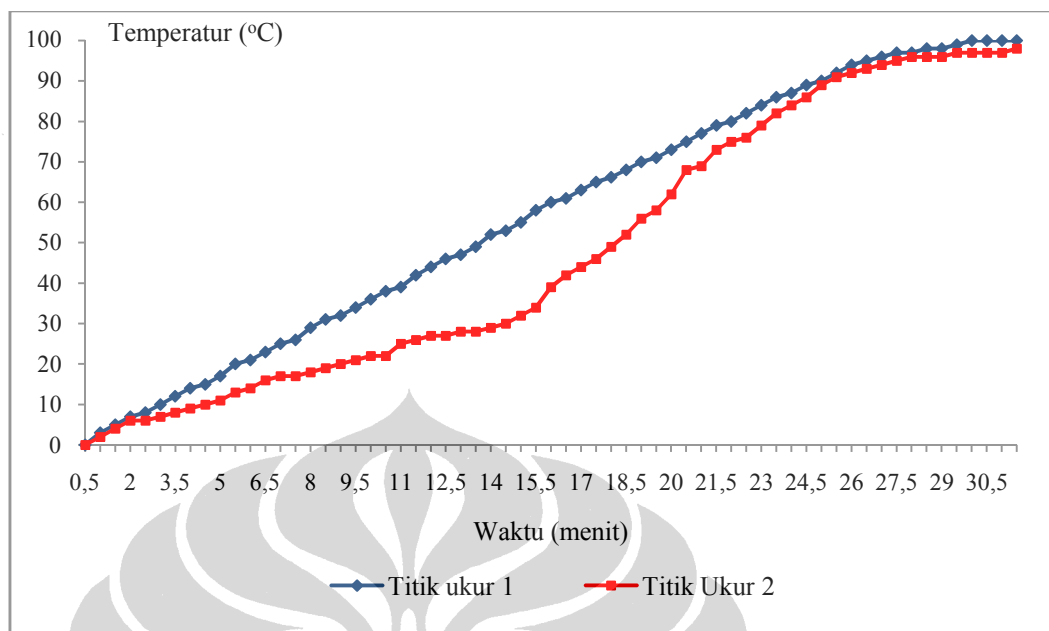
Gambar 5.5 Titik pengukuran temperatur *reboiler* turbin

Hasil eksperimen yang dianalisis adalah temperatur pada kedua titik pengukuran dalam waktu 14,5 menit yaitu sampai salah satu titik ukur mencapai 100°C dengan hasil sebagai berikut :



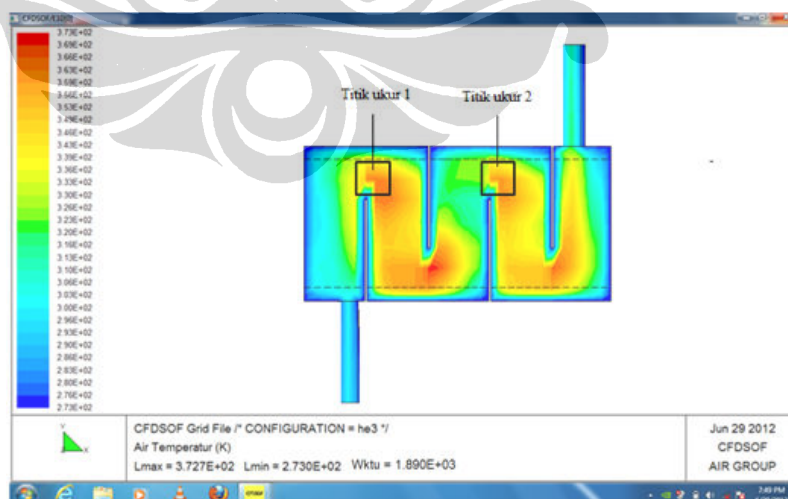
Gambar 5.6 Grafik distribusi temperatur air pada *reboiler* turbin hasil eksperimen

Berdasarkan grafik di atas, laju peningkatan temperatur pada titik ukur 1 lebih cepat dibandingkan titik ukur 2. Pada menit ke-13,5 temperatur air pada titik ukur satu telah mencapai 100°C dimana pada menit selanjutnya telah terbentuk uap yang direpresentasikan oleh temperatur di titik ukur 1 mencapai 102°C. Sedangkan pada titik ukur 2 temperatur air pada menit ke-13,5 hanya 97°C. Hal ini terjadi akibat dari kontur celah antara *tube* serta temperatur gas buang lebih tinggi sehingga saat air mencapai titik ukur 1 telah menyerap kalor yang cukup untuk menguapkan namun hasil eksperimen belum dapat menunjukkan fraksi uap yang terbentuk sehingga diperlukan simulasi yang dapat memvisualisasikan hasil eksperimen. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar berikut :



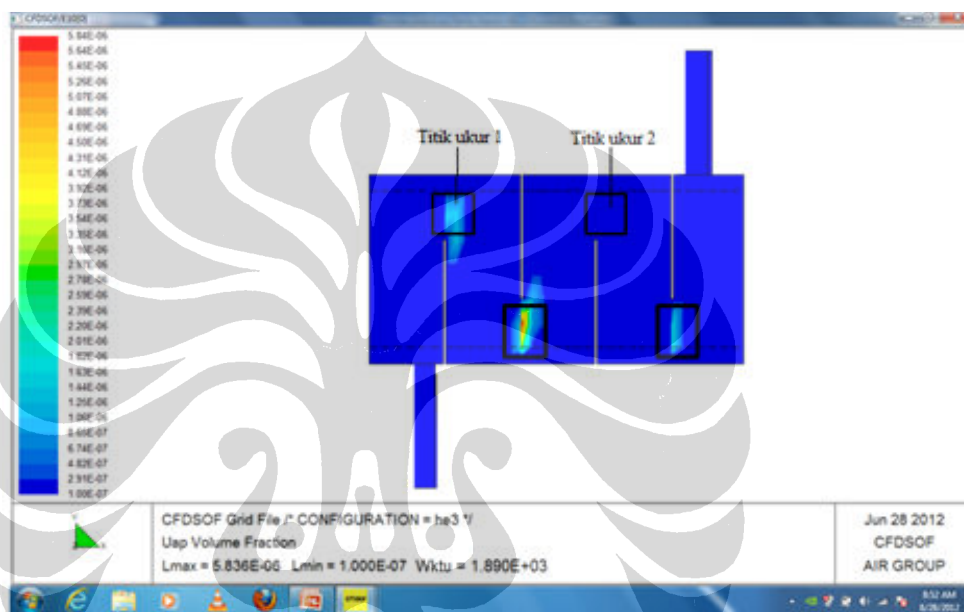
Gambar 5.7 Grafik distribusi temperatur air pada *reboiler* turbin hasil simulasi

Berdasarkan grafik distribusi temperatur hasil simulasi secara kualitatif menunjukkan fenomena yang hampir sama yaitu kenaikan titik ukur 1 lebih cepat dibandingkan titik ukur 2. Namun terjadi perbedaan waktu evaporasi awal yang disebabkan oleh faktor temperatur awal air saat simulasi 0°C sedangkan saat eksperimen 30°C dan penyederhanaan model.



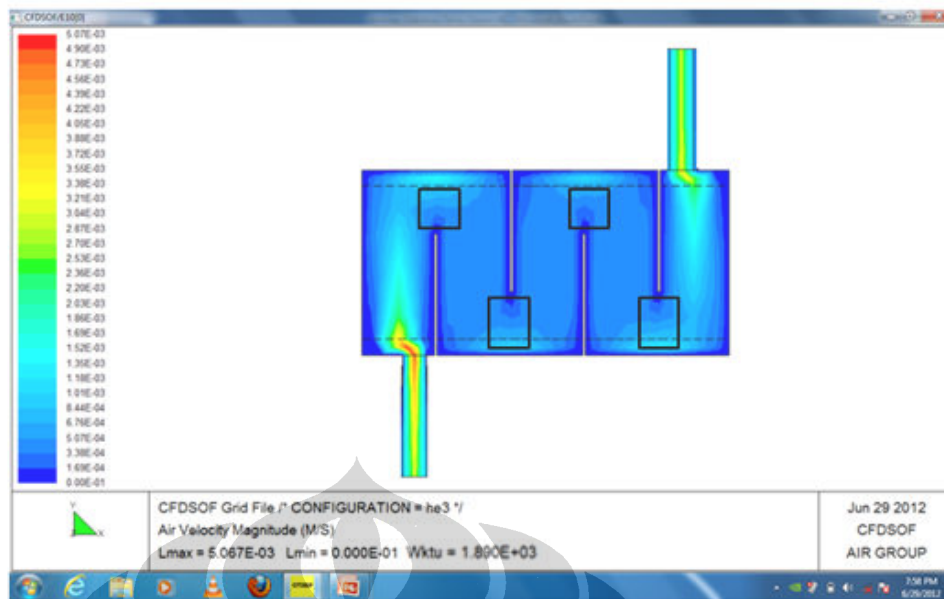
Gambar 5.8 Distribusi temperatur air pada *reboiler* turbin 2 fasa.

Distribusi temperatur tertinggi air pada simulasi dua fasa hanya mencapai 100°C , sebab dengan mengaktifkan model multifasa maka setelah mencapai titik uap maka kalor yang diserap akan digunakan untuk mengubah fasa dengan. Secara kuantitatif hasil simulasi mendekati kondisi nyata sistem, yaitu peningkatan temperatur di titik ukur satu lebih cepat dibandingkan titik ukur 2. Hal ini didukung hasil simulasi kontur uap sebagai berikut:



Gambar 5.9 Distribusi fraksi uap pada *reboiler* turbin 2 fasa

Hasil simulasi fraksi uap lebih cepat terbentuk pada titik ukur 1 dibandingkan titik ukur 2. Fraksi uap juga terbentuk dibelokan bawah *baffle* 2 dan dibelokan bawah *baffle* 4, namun pada eksperimen pada daerah tersebut tidak diberi titik ukur, sebab jika diberikan titik ukur tingkat kebocoran disisi *shell* cenderung tinggi karena posisinya yang berada di bawah. Peningkatan temperatur yang lebih cepat pada celah antara *baffle* disebabkan oleh dinamika kecepatan pada sistem yang divisualisasikan oleh hasil simulasi berikut ini :

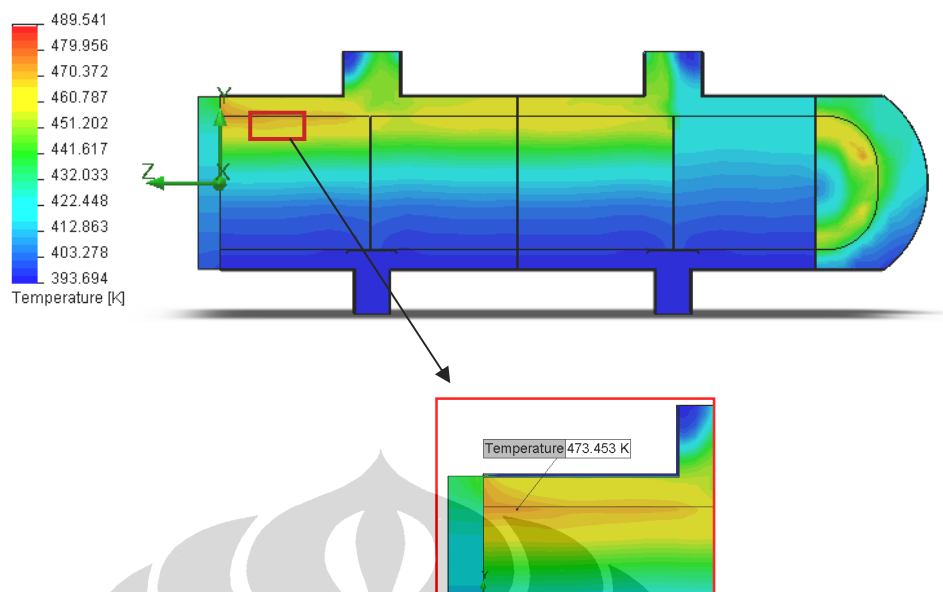


Gambar 5.10 Distribusi kecepatan air pada *reboiler* turbin 2 fasa

Kecenderungan kecepatan air pada belokan *baffle* memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan daerah antara *baffle* ke *baffle*. Fenomena ini disebabkan luas laluan air yang sempit akibat konfigurasi *tube bundle* dan jarak celah antara *baffle* dengan dinding *shell* bagian dalam. Kecepatan fluida yang lebih cepat meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi sesuai dengan persamaan (2.13). Dengan demikian memvisualisasikan fenomena fluida pada *reboiler* sangat bermanfaat karena dapat memvisualisasikan pembentukan uap dan dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk optimasi desain.

5.2 Analisis Simulasi Redesain CO₂ *Stripper Reboiler*

Tahap awal analisa korosi lokal pada CO₂ *stripper reboiler* yaitu dengan menggunakan *software* CFD SolidWork satu fasa yang bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur. Temperatur tinggi mengidentifikasi proses pendidihan pada daerah tersebut sering terjadi dibandingkan daerah lainnya.



Gambar 5.11 Distribusi temperatur amdea solution pada CO₂ stripper reboiler dengan SolidWork

Temperatur *inlet* rata-rata 396 K semakin ke atas temperatur semakin tinggi terutama pada bagian kanan atas. Pada daerah tersebut merupakan pertemuan LTS Effluent bertemperatur tinggi yang mengalir melalui *tube* dengan Amdea Solution yang telah menyerap kalor yang mengalir sepanjang *shell* sehingga bertemperatur lebih tinggi dibandingkan *inlet*. Semakin menjauh dari *tubesheet* temperatur Amdea Solution semakin berkurang berbanding lurus dengan temperatur LTS Effluent yang menurun karena telah melepaskan kalornya.

Berdasarkan simulasi di atas, temperatur Amdea Solution tertinggi terletak pada daerah korosi yaitu sebesar 473 K, sedangkan temperatur *outlet* rata-rata sebesar 414 K. Amdea Solution memiliki titik uap 397 K, kenaikan temperatur sampai 414 K sebab kalor yang diserap digunakan untuk menaikkan temperatur tanpa perubahan fasa. Berdasarkan persamaan kalor sensibel maka kalor yang diserap sebesar 24100 kW atau 19% dibawah kemampuan pindah kalor alat penukar kalor. Hal itu terjadi karena kemampuan pindah kalor alat penukar kalor didesain 10-20% lebih tinggi dibandingkan kebutuhan perpindahan kalor yang bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya *fouling*.

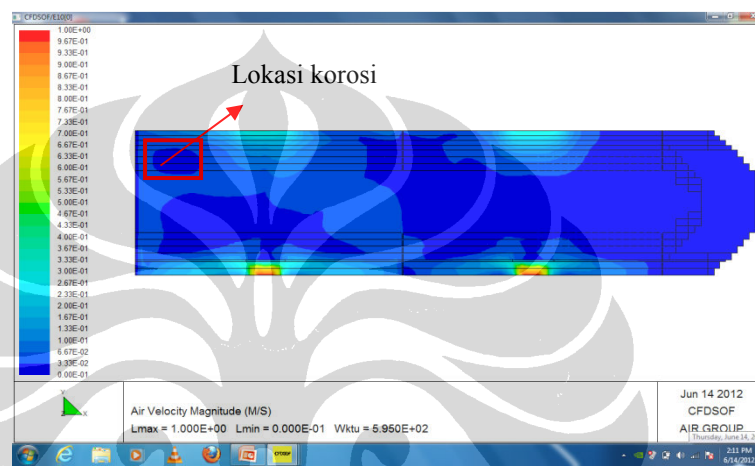
Simulasi dua fasa menggunakan *software* CFDSof. Model multifasa dengan metode eulerian karena dua fasa yaitu air dan uap, perpindahan kalor yang diaktifkan perhitungan temperatur dan fluks kalor, gaya gravitasi diaktifkan karena diameter *reboiler* yang cukup besar yaitu 2 m sehingga gravitasi cukup mempengaruhi aliran fluida sesuai dengan persamaan Bernaulli, perubahan massa jenis diabaikan karena delta temperatur yang tidak signifikan, jumlah 74358 *mesh* maksimum tersedia 100000 *mesh*, dan perhitungan turbulensi metode k-epsilon karena turbulensi yang terjadi pada rebolier tidak sekomplek di kompressor. amdea solution masuk dari bawah dan keluar pada bagian atas.

Proses perpindahan kalor pada sistem ini adalah *unsteady*, yaitu temperatur berubah terhadap waktu sehingga diaktifkan model terikat waktu yang berfungsi untuk mengamati kenaikan temperatur dan proses pembentukan uap. Pada awal simulasi temperatur awal fluida sesuai default yaitu 273 K. Kalor yang diserap oleh Amdea Solution menaikkan temperaturnya sampai 397 K kemudian mengubah fasa dari cair menjadi uap. Hasil simulasi sebagai berikut :



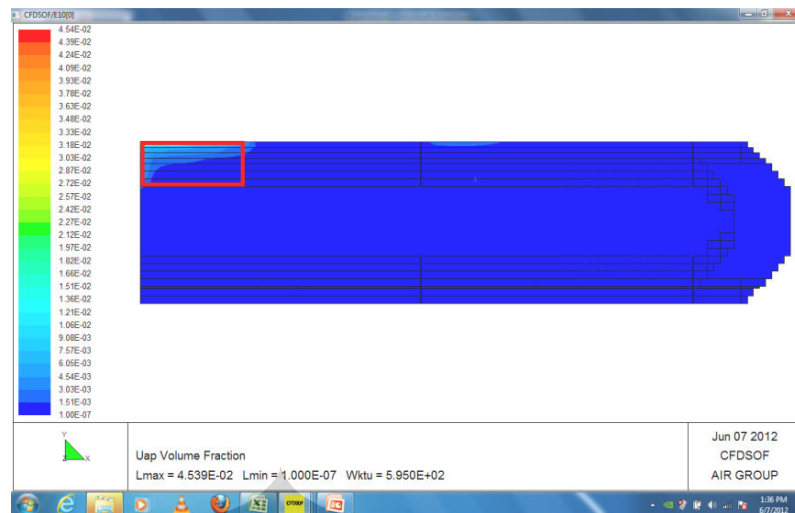
Gambar 5.12 Distribusi temperatur amdea solution pada CO_2 *stripper reboiler* dengan CFDSof 2 fasa

Berdasarkan hasil simulasi amdea solution bertemperatur tinggi pada daerah *overheat* yaitu pada sisi *tubesheet* bagian atas atau kiri atas. Hasil ini sesuai dengan sesuai dengan asas black, kalor yang dilepas pada sisi *tubesheet* bagian atas paling besar sehingga meningkatkan temperatur amdea solution sampai titik didih jenuh kemudian menguap. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi satu fasa, lokasi korosi memiliki tren temperatur tertinggi dibandingkan daerah lainnya.

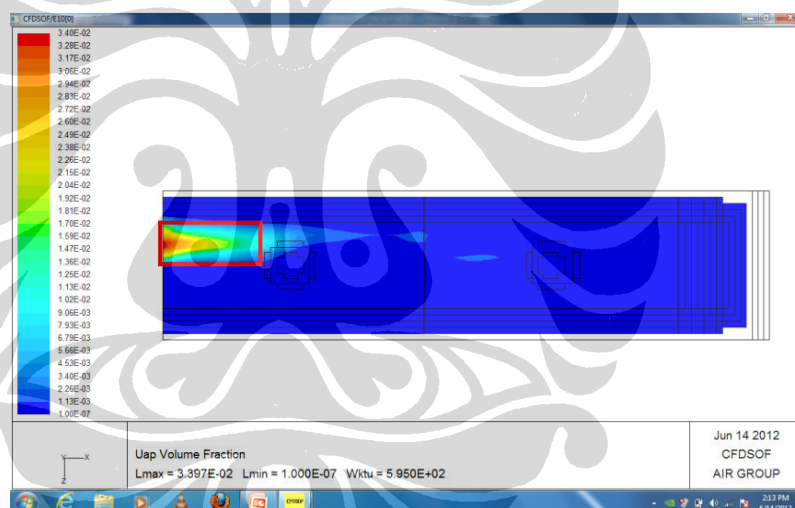


Gambar 5.13 Distribusi kecepatan amdea Solution pada CO_2 stripper reboiler dengan CFDSof 2 fasa

Amdea solution mengalir dari *inlet* bagian bawah yang berdiameter 16 in dengan laju massa 236,4 kg/s atau sekitar 1 m/s. Terdapat *impigment* pada kedua sisi *inlet* yang membagi aliran. Ketika memasuki Celah antara U Tube bundle kecepatan menurun akibat dari luasan yang lebih tinggi dibandingkan *inlet*, namun kecepatan cenderung lebih cepat pada bagian kiri atas akibat temperatur tinggi yang menyebabkan penurunan massa jenis, namun pada lokasi korosi yang berlokasi pada permukaan *tube* bagian atas yang berjarak 250-300 mm dari *tubesheet* kecepatan air lebih lambat dibandingkan sekitar. Kecepatan kembali meningkat mencapai 0,6 m/s pada sisi *outlet*. Secara umum fenomena ini sesuai dengan hukum kontinuitas, dimana pada luas laluan yang besar kecepatan fluida akan lebih lambat dibandingkan pada luas laluan yang sempit.

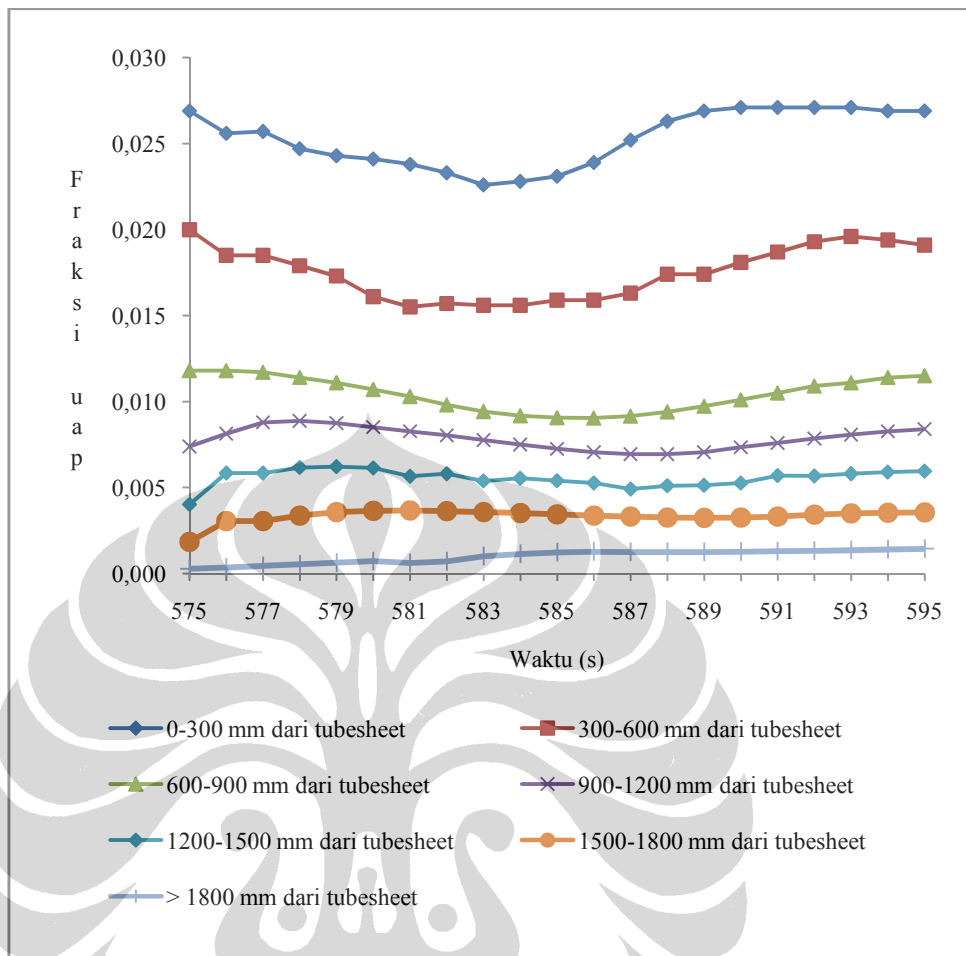


Gambar 5.14 Distribusi fraksi uap amdea solution pada CO_2 stripper reboiler dengan CFDSof 2 fasa tampak depan



Gambar 5.15 Distribusi fraksi uap amdea solution pada CO_2 stripper reboiler dengan CFDSof 2 fasa tampak atas

Lokasi korosi bertemperatur tinggi dan berkecepatan rendah menyebabkan proses pendidihan sering terjadi yang direpresentasikan dari fraksi uap yang cenderung dominan pada lokasi tersebut. Distribusi fraksi uap sepanjang permukaan *tube* dekat sisi *outlet* dapat dilihat pada Grafik berikut :



Gambar 5.16 Grafik fraksi uap CO_2 stripper reboiler terpasang

Fraksi uap tertinggi pada jarak kurang dari 300 mm dari *tubesheet* sebesar 0,0266 atau sebesar 6,33 kg/s, semakin menjauhi *tubesheet* fraksi uap berkurang sekitar 0,25 kg/s. Fraksi uap cenderung naik-turun, disebabkan oleh adanya sumber kalor yang menyebabkan fraksi uap naik sedangkan aliran uap menuju *outlet* menyebabkan fraksi uap turun. Pada kondisi terpasang fraksi uap pada *outlet* sebesar 0,05 atau 11,92 kg/s sedangkan pada simulasi fraksi uap pada *outlet* sebesar 0,0453 atau 10,80 kg/s. Secara kualitatif simulasi ini dapat merepresentasikan kondisi sistem karena beda simulasi hanya 10% dibandingkan kondisi terpasang.

Material *tube* adalah stainless steel 304 yang umum digunakan untuk *reboiler* karena memiliki komposisi yang tahan korosi di bawah temperatur 595°C jika lebih tinggi maka perlu dilakukan pendinginan pada sistem selama 5 menit untuk menghindari pembentukan karbid yang mengurangi kromium pada lapisan pelindung sehingga mudah terserang korosi lokal (H.Ackerman et al., 1987). Pada sistem *CO₂ Stripper Reboiler* temperatur maksimal 124°C masih dibawah temperatur kritis 595°C sehingga penyebab korosi bukan karena faktor termal. Korosi lokal pada daerah tersebut bukan disebabkan oleh keasaman fluida karena fluida asam umumnya menyebabkan korosi merata.

Korosi lokal disebabkan oleh kerusakan lapisan pelindung (*passive film*) pada daerah tersebut. Pada sistem ini lokasi korosi terdapat pada daerah yang sering mengalami proses pendidihan dimana pada saat proses pendidihan terbentuk energi yang dapat menyebabkan proses re-oksidasi senyawa pembentuk stainless (C, Mn, P, S, Si, Cr, Ni, Mo) (Motooka, T. et al., 2008). Berdasarkan deret volta di bawah, Cr dan Mo berada di sebelah kiri sehingga lebih mudah teroksidasi melepaskan elektron ke lingkungan. Proses tersebut dapat menyebabkan terhambatnya pembentukan *passive film* sehingga permukaan menjadi kasar dan akhirnya terbentuk korosi lokal.

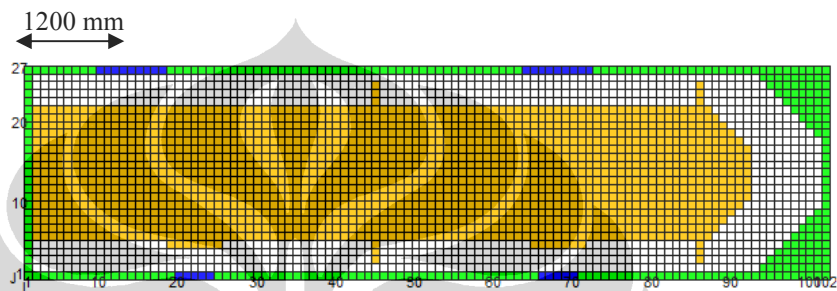
1	H 1310																	He 2370
2	Li 520	Be 900											B 800	C 1090	N 1400	O 1310	F 1680	Ne 2080
3	Na 500	Mg 740											Al 580	Si 790	P 1010	S 1000	Cl 1250	Ar 1520
4	K 420	Ca 590	Sc 630	Ti 660	V 650	Cr 650	Mn 720	Fe 760	Co 760	Ni 740	Cu 750	Zn 910	Ga 580	Ge 760	As 950	Se 940	Br 1140	Kr 1350
5	Rb 400	Sr 550	Y 620	Zr 660	Nb 660	Mo 680	Tc 700	Ru 710	Rh 720	Pd 800	Ag 730	Cd 870	In 560	Sn 710	Sb 830	Te 870	I 1010	Xe 1170
6	Cs 380	Ba 500	La 540	Hf 680	Ta 760	W 770	Re 760	Os 840	Ir 880	Pt 870	Au 890	Hg 1010	Tl 590	Pb 720	Bi 700	Po 810	At	Rn

Gambar 5.17 Deret volta

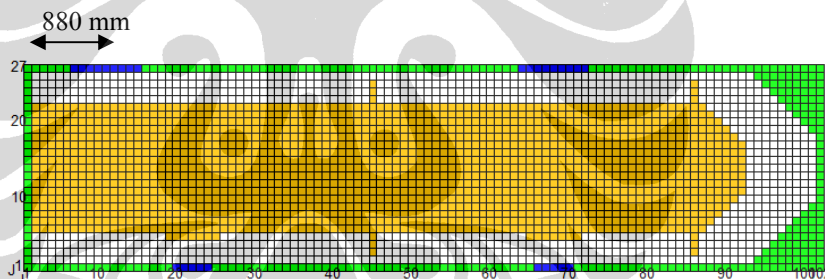
Berdasarkan hasil simulasi di atas, penyebab korosi adalah proses pendidihan dengan demikian maka redesain bertujuan untuk mengurangi proses

pendidihan pada lokasi korosi. Pada riset ini dilakukan tiga redesain sebagai berikut :

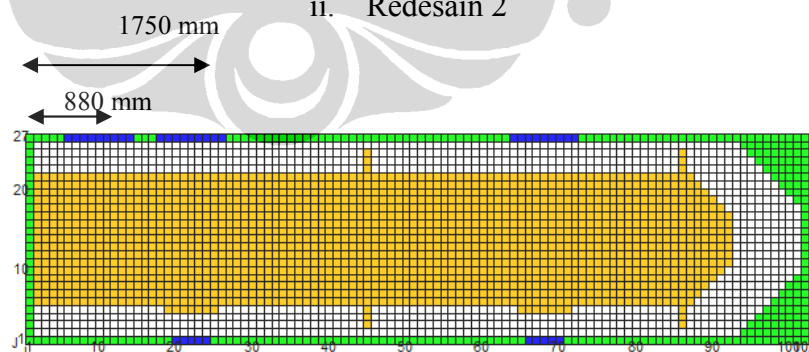
- i. Redesain 1 mendekatkan posisi *outlet shell* dari 1750 mm dari *tubesheet* menjadi 1200 mm
- ii. Redesain 2 mendekatkan posisi *outlet shell* dari 1750 mm dari *tubesheet* menjadi 880 mm
- iii. Redesain 3 menambah *outlet* dari dua outlet menjadi tiga outlet



i. Redesain 1



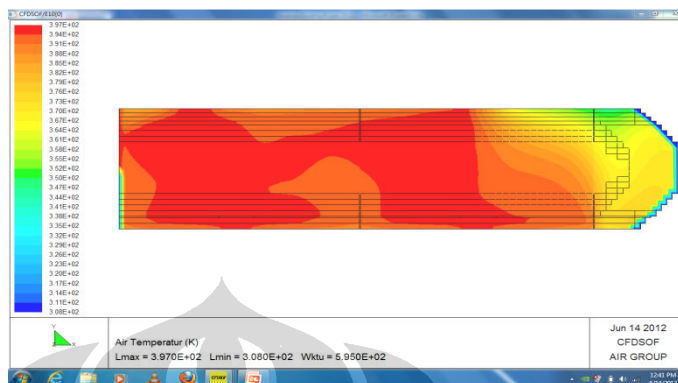
ii. Redesain 2



iii. Redesain 3

Gambar 5.18 Model geometri redesain CO₂ stripper reboiler

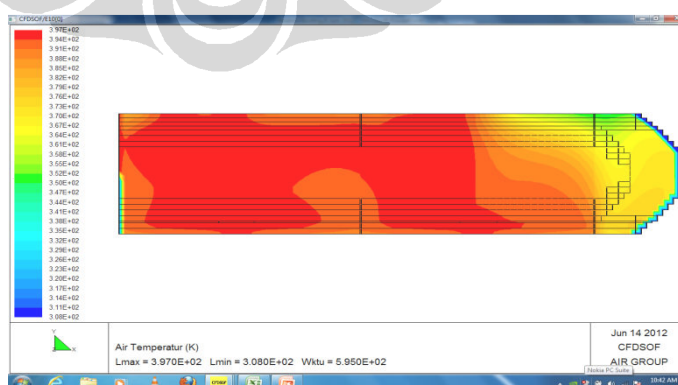
Pada redesain perubahan yang dilakukan hanya posisi *outlet* dan penambahan *outlet* sedangkan parameter simulasi tetap. Berikut hasil simulasi redesain :



Gambar 5.19 Distribusi temperatur amdea solution pada redesain 1 *CO₂ stripper reboiler*

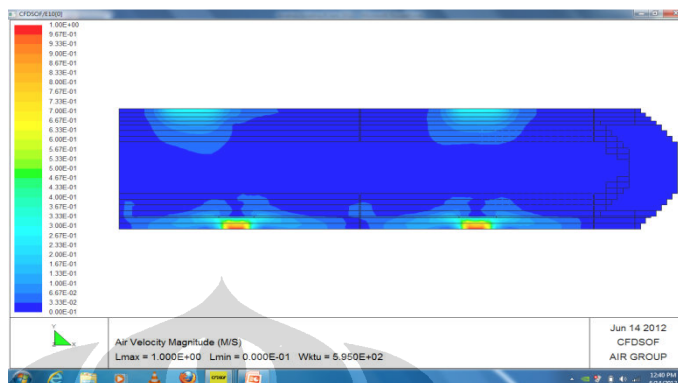


Gambar 5.20 Distribusi temperatur amdea solution pada redesain 2 *CO₂ stripper reboiler*

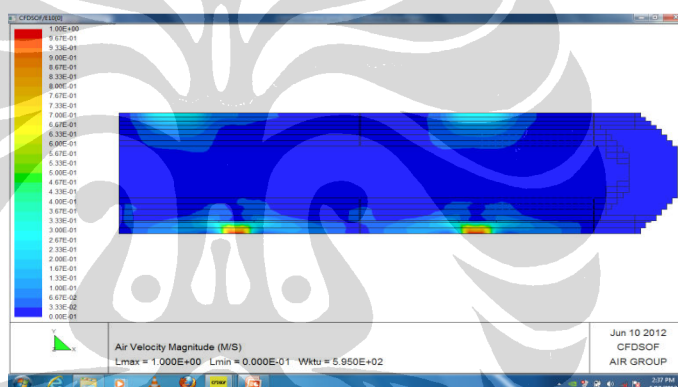


Gambar 5.21 Distribusi temperatur amdea solution pada redesain 3 *CO₂ stripper reboiler*

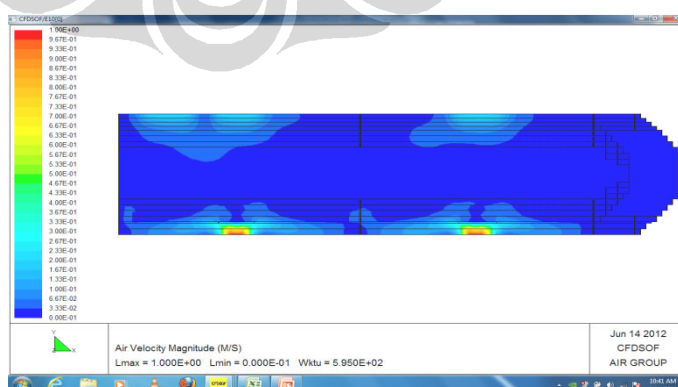
Perubahan posisi *outlet* mendekati *tubesheet* menyebabkan aliran amdea solution bertemperatur tinggi lebih cepat mengalir sehingga secara umum ketiga redesain menunjukkan luasan temperatur tinggi yang berkurang.



Gambar 5.22 Distribusi kecepatan amdea solution pada redesain 1 *CO₂ stripper reboiler*

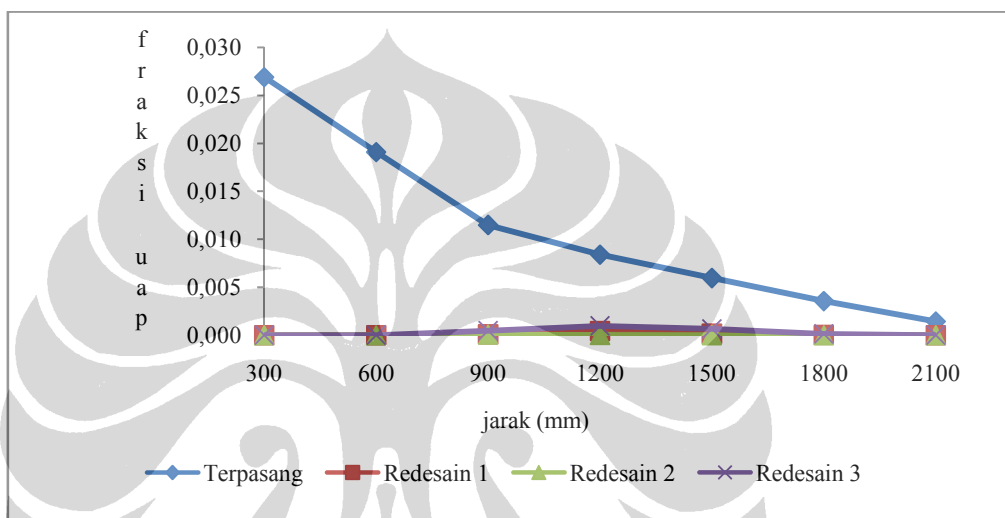


Gambar 5.23 Distribusi kecepatan amdea solution pada redesain 2 *CO₂ stripper reboiler*

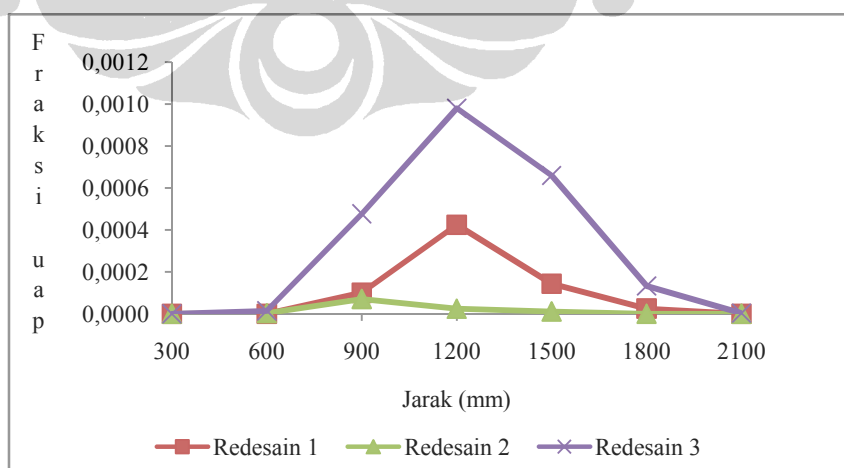


Gambar 5.24 Distribusi kecepatan amdea solution pada redesain 3 *CO₂ stripper reboiler*

Kondisi *CO₂ stripper reboiler* terpasang pada lokasi korosi temperatur Amdea solution tinggi namun kecepatan lebih rendah dibandingkan lokasi lain yang memiliki temperatur sama. Ketiga redesain menunjukkan fenomena sebaliknya yaitu pada temperatur tinggi kecepatan juga tinggi sehingga lebih cepat mengalir menuju *outlet*. Dengan demikian kalor yang diserap Amdea solution relatif lebih sedikit dengan kondisi terpasang. Hal ini sesuai dengan fraksi uap yang terbentuk lebih rendah dibandingkan kondisi terpasang, seperti grafik berikut ini :



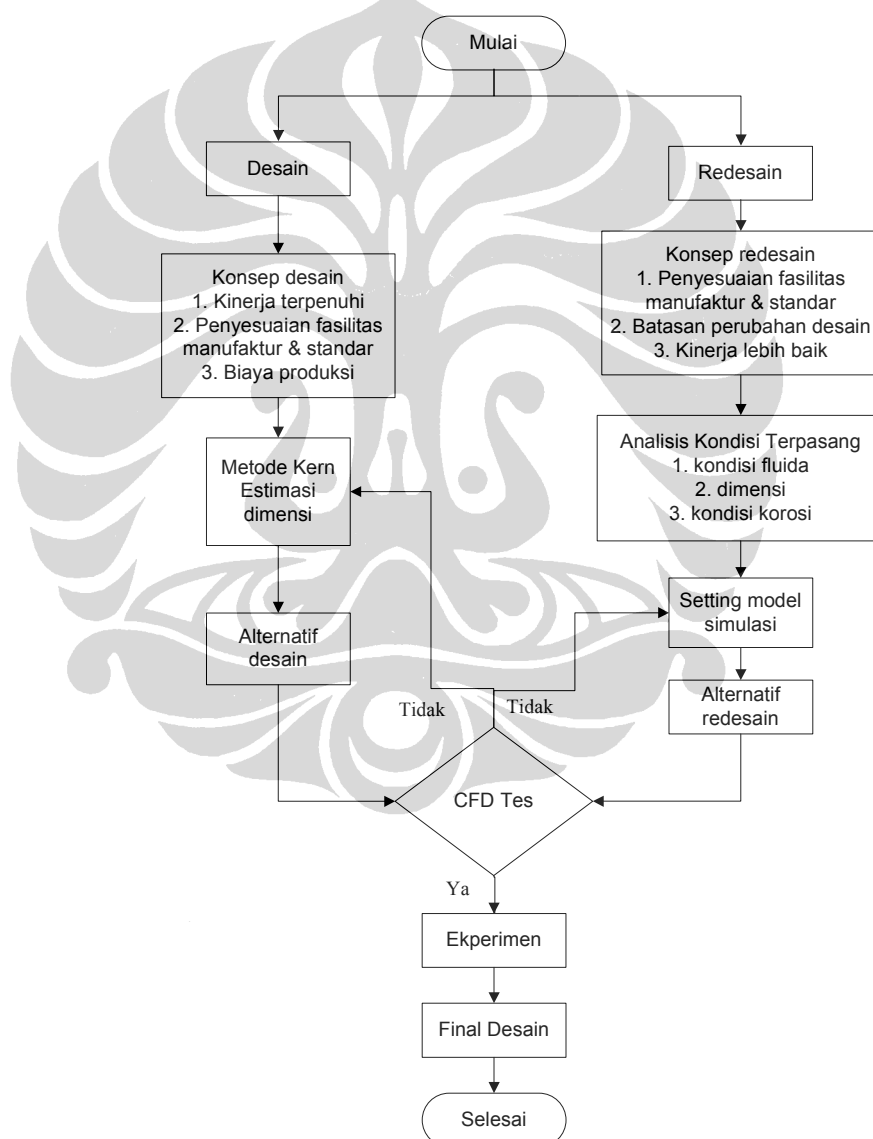
Gambar 5.25 Grafik perbandingan fraksi uap amdea solution pada *CO₂ stripper reboiler* kondisi terpasang dengan redesain



Gambar 5.26 Grafik perbandingan fraksi uap amdea solution ketiga redesain *CO₂ stripper reboiler*

Ketiga redesain menunjukkan fraksi uap yang lebih kecil dibandingkan kondisi terpasang yaitu di bawah 0,001. Dengan demikian pengeseran posisi outlet *shell* mendekati *tubesheet* sangat efektif untuk mengurangi stagnasi fluida pada bagian korosi sehingga proses pendidihan berkurang yang direpresentasikan oleh pembentukan uap yang rendah. Berdasarkan pembentukan fraksi uap, maka redesain dua adalah yang terbaik karena fraksi uap yang terbentuk paling rendah kurang dari 0,0002.

Secara keseluruhan pengembangan metode desain berdasarkan hasil analisis desain dan redesain dapat diplot dengan diagram berikut :



Gambar 5.27Diagram alir pengembangan desain dan redesain dengan CFD

BAB 6

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

1. Desain dan redesain dengan CFD sangat membantu optimasi karena dapat memvisualisasikan fenomena yang terjadi pada sistem
2. Hasil simulasi desain *reboiler* turbin menunjukkan fenomena yang sama dengan hasil eksperimen dimana peningkatan temperatur pada titik ukur 1 lebih cepat dibandingkan titik ukur dua sehingga pada jarak 85 mm dari *tubesheet* sisi *inlet* gas buang sudah mulai terbentuk uap.
3. Simulasi redesain CO₂ *stripper reboiler* menunjukkan pembentukan fraksi uap sebesar 0,0453 berbeda 9% dibandingkan kondisi *existing* (0,055) sehingga hasil simulasi mendekati kondisi terpasang.
4. Redesain dua yaitu perubahan posisi *outlet* shell dari 1750 mm menjadi 880 mm menghasilkan fraksi uap yang terendah yaitu sebesar 0,0002.

6.2 Saran

1. Desain *reboiler* turbin mikro bioenergi proto x-2 over desain oleh sebab itu perlu diatur laju massa air sehingga pembentukan uap terjadi disekitar *outlet*.
2. Redesain CO₂ *stripper reboiler* pada riset ini dengan konstrain fraksi uap terendah untuk riset lebih lanjut perlu dikaji fenomena mekanika fluida seperti perubahan tekanan sehingga akan dihasilkan redesain yang optimal dan memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan kondisi *existing*.

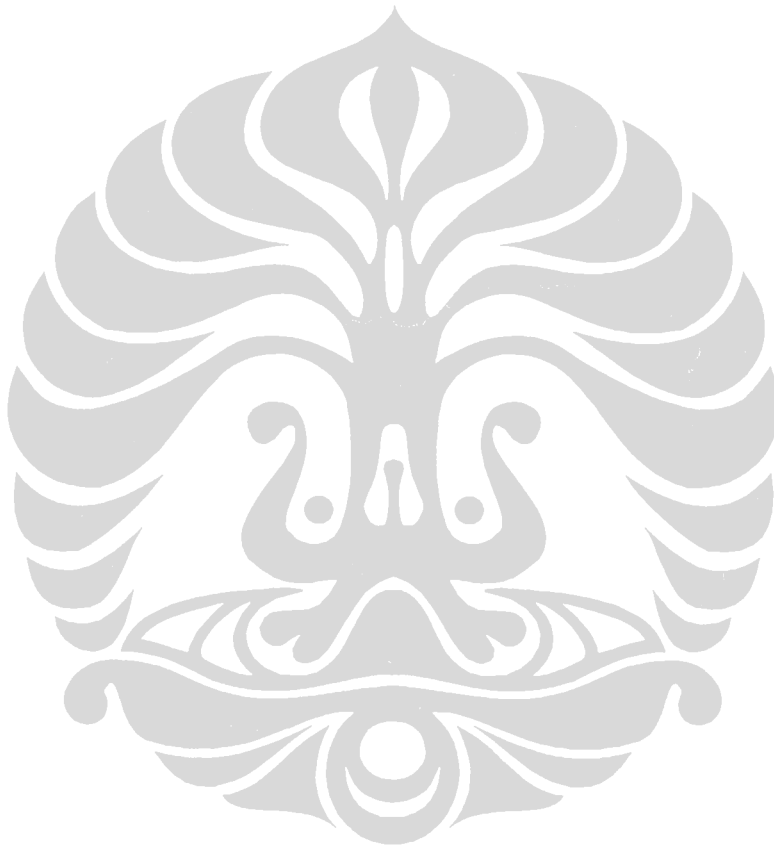
DAFTAR REFERENSI

- Andrew M.J. dan Master B.I,[2005). Three Dimensional Modelling of a Helixchanger *heat exchanger* using CFD. Journal Heat Transfer Eng 26, Page 22-31.
- H.Ackerman et al., ASM Metals Hand book Volume 13 Corrosion 1987, *9th edition ASM International handbook committee.*
- Bell KJ. Delaware methode for shell side design. In: Kakaq S, Bergles AE, Mayinger F, editor. *Heat exchanger: Thermal-Hydroulic Fundamentals and Design.* New York 1981.p.581-618.
- Butterworth D. A Model for Heat Transfer During The Three Dimensional Flow in *Tube* bundle,in: 6th International Heat Transfer Conference, Toronto, August, 1974.
- Carrier. Handbook of Air Conditioning System Design. USA: McGraw Hill International Book Company, 1965.
- Darmawan S. Karakteristik Kompresor-Turbin Pada Turbin Bioenergi.Tesis.2011.
- Gaddis D. editor. Standard of the Tubular Exchanger Manufacturers.Ninth edition. 2007.
- Hadid F. Analisis *Reboiler Tipe Shell and tube* Untuk Sistem Destilasi Bioetanol Yang Terintegrasi Dengan Turbin Mikro Bioenergi Proto X-1.Skripsi.2012.
- Incropera P. Frank, Dewitt P. David, Bergman L. Theodore and Lavine S. Adrienne. Introduction to Heat Transfer. John Wiley & Sons [Asia) Pte Ltd. 2007, page 660-661.

- J.P. Holman. Heat Transfer. McGraw Hill International Book Company, 1986.
- Kapale C. And Chand Satish,[2006) Modeling for Shell Side Pressure Drop for Liquid Flow in *Shell & tube Heat exchanger*. Journal of Heat and Mass Transfer 49, page 601-610.
- Karl T. Ulrich and Steven D. Eppinger. Perancangan dan Pengembangan Produk. Terjemahan. Salemba Teknika. 2001.
- Kern DQ. Process heat transfer. New York[NY) : McGraw-Hill;1950.
- Motooka, T. et al., Corrosion Behavior of Stainless Steel in Nitric Acid Solutions Including Neptunium, *Zairyo-to-Kankyo*, vol.57, no.12, 2008, p.536-541
- Ozden E. dan Tari I,(2010) Shell Side CFD Analysis of a Small *Shell and tube Heat exchanger*. Journal of Energy Conversion Management, page 1004-1014.
- Prithiviraj M. dan Andrew M.J,[1998). Three Dimensional Numerical of *Shell & tube Heat exchanger*, Part 1 : Foundation and Fluid Mechanics, Numer. Heat Transfer A. Appl.33, page 817-828.
- Rahimi M, Khoshhal A, dan Shariati S.M. CFD Modeling of a Boiler *Tube Rupture*. Applied Thermal *Engineering* 26, 2006, page 2192-2200.
- Ramesh K. Shah and Dusan P. Sekulic. Fundamental of *Heat exchanger* Desain. John Wiler & Sons Inc, 2003.
- Robert, F.W., and McDonald, A.T. Introduction to Fluid Mechanics. John Wiler & Sons Inc, 1994.
- Sha W.T, Yang, Kao T.T., et al,[1982) Multi Numerical Modelling of *Heat exchangers*, ASME J. Journal of Heat Transfer 104, page 417-425.
- Shaik H, Suba Rao R.V, George, dan Khatak H.S. Corrosion Failure of AISI type 304 Stainless Steel in a Fertilizer Plant. Journal of *Engineering Failure Analysis* 10, 2003, page 329-339

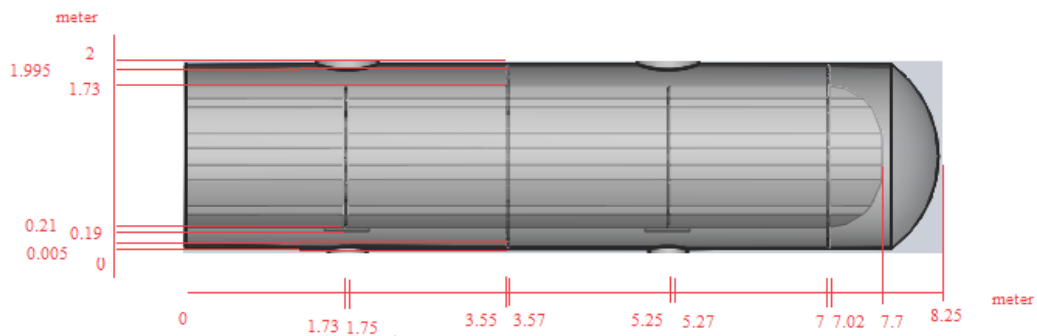
S.V. Pantakar, D.B. dan Spalding. A Calculation Procedure for The Transient and Steady State of *Shell & tube Heat exchanger*, in : N.F. Afgan, E.O. Schlunder [Eds). *Heat exchanger Desain and Theory Source Book*, McGrawhill, New York, 1974.

Veersteg H.K dan Malalasekera W. *Computational Fluid Dynamic*. Pearson Prentice Hall. 1995



TUTORIAL SIMULASI CO₂ STRIPPER REBOILER

1. Pembuatan model geometri



1.1 Dimensi

2D

P=8.25 m

Tinggi = 2 m

Lebar (ikut bawaan)

1.2 Jumlah Cell

X=102 (jumlah inner 100 sisanya dinding)

Y=27 (jumlah inner 25 sisanya dinding)

1.3 Bangun Grid

Sumbu x			
Segmen	Titik mulai (m)	Titik akhir (m)	Cell
S1	0		20
S2	1,73		1
S3	1,75		22
S4	3,55		1
S5	3,57		22
S6	5,25		1
S7	5,27		17
S8	7		1
S9	7,02		8
S10	7,7	8,25	7

Sumbu y			
Segmen	Titik mulai (m)	Titik akhir (m)	Cell
S1	0		1
S2	0,005		2
S3	0,19		1
S4	0,21		16
S5	1,73		4
S6	1,995	2	1

1.4 Merubah 2 dimensi menjadi 3 dimensi

1.5 Pengaturan sesuai kondisi terpasang

1.6 Konstantas Fiskal

1.7 Atur Model (Pindah panas, multifasa, terikat waktu, turbulensi)

Detail tutorial ada di CD